

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DE PHARMACIE

Série U. N° 8

Contribution à l'Étude
de
Quelques Poussières siliceuses
et de leur sort dans les Poumons

THÈSE

POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

Docteur de l'Université de Paris
(PHARMACIE)

présentée et soutenue le Juin 1938

PAR

Jean PEYSSONNEAU

JURY { MM. FABRE, *Président.*
PICON, *Professeur.*
BEDEL, *Maître de Conférences.*

PARIS

JOUBE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, RUE RACINE, 15

1938

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DE PHARMACIE

Série II. N° 8

Contribution à l'Étude
de
Quelques Poussières siliceuses
et de leur sort dans les Poumons

THÈSE

POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

Docteur de l'Université de Paris
(PHARMACIE)

présentée et soutenue le Juin 1938

PAR

Jean PEYSSONNEAU

JURY { MM. FABRE, *Président.*
PICON, *Professeur.*
BEDEL, *Maitre de Conférences.*

PARIS

JOUVE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, RUE RACINE, 15

1938



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A MON MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR RENÉ FABRE

Professeur de toxicologie à la Faculté de Pharmacie
et à l'Institut d'Hygiène industrielle et de Médecine du Travail,
de la Faculté de Médecine de Paris
Pharmacien en Chef du Groupe hospitalier Necker-Enfants-Malades.

Hommage de respectueuse gratitude.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR A. LEMIERRE

A MONSIEUR LE DOCTEUR J. REILLY

A MONSIEUR LE DOCTEUR A. LAPORTE

En témoignage de mon respectueux attachement.

Contribution à l'Étude de quelques Poussières siliceuses et de leur sort dans les Poumons

INTRODUCTION

M. le Professeur René Fabre, en nous donnant comme but de nos recherches, l'étude de la nature des poussières siliceuses du poumon, nous a permis d'apporter une modeste contribution à une branche de la toxicologie qui tend à prendre de plus en plus une place prépondérante ; nous voulons parler de la toxicologie industrielle.

L'étude toxicologique des composés siliceux offre un grand intérêt. La silice est, en effet, un des principaux constituants des poussières atmosphériques. Ces poussières, la grande industrie moderne ne cesse de les déverser dans l'atmosphère, tant par le travail mécanique proprement dit (usine ou travaux industriels), que par l'intermédiaire des fumées. C'est pourquoi la silice occupe à l'heure actuelle une place de tout premier plan dans les maladies professionnelles.

Nous nous sommes attaché à essayer de connaître le taux de l'imprégnation pulmonaire chez l'homme. Nous avons ensuite étudié différents silicates et diverses poussières au point de vue de leur résistance aux acides et de leur teneur en SiO_2 , et, nous avons cherché, enfin, à suivre le sort de quelques-uns d'entre eux dans les poumons de divers animaux de laboratoire.

Notre travail comporte d'abord une partie où sont développées les différentes techniques de dosage de la silice et

de destruction de la matière organique en vue de ce dosage. Dans ce premier chapitre nous exposons également les raisons qui nous ont fait choisir la méthode nitro-sulfo-perchlorique pour détruire les matières organiques, le développement de cette technique et de celle que nous avons employée pour doser la silice.

Les autres chapitres sont une application de ces techniques à l'analyse de poumons humains, de différents silicates et poussières siliceuses, et de poumons d'animaux soumis à des inhalations ou injections de poussières. Nous avons cherché la voie d'accès des particules dans les poumons, et le taux de leur imprégnation siliceuse à partir de quantités quelconques ou de quantités connues.

Nos recherches de toxicologie analytique ont été effectuées au laboratoire de Toxicologie de la Faculté de Pharmacie de Paris. Nous exprimons nos vifs remerciements à M. le Professeur René Fabre, Professeur de Toxicologie à la Faculté de Pharmacie et à l'Institut d'Hygiène Industrielle et de Médecine du Travail de la Faculté de Médecine de Paris, pour l'accueil qu'il nous a réservé dans son laboratoire. Nous tenons à lui témoigner notre gratitude, pour la bienveillance qu'il nous a toujours montrée, pour les conseils avisés qu'il a bien voulu nous donner, et qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous le remercions sincèrement d'avoir bien voulu considérer nos recherches comme suffisantes pour constituer notre thèse de doctorat en Pharmacie, et d'avoir accepté de présider notre jury. Nous le prions d'agréer l'expression de nos sentiments respectueux de vive reconnaissance.

Notre expérimentation animale a été faite au laboratoire de M. le Dr J. Reilly, chef de laboratoire de bactériologie à l'hôpital Claude-Bernard. Nous sommes heureux de lui témoigner l'expression de notre affectueuse gratitude.

A M. le Professeur Picon et à M. Bedel, maître de conférence, qui ont bien voulu accepter de juger notre travail, nous adressons l'expression de notre reconnaissance.

M. Paul Cheramy, Pharmacien des Hôpitaux et Assis-

tant de Toxicologie de la Faculté de Pharmacie, a mis à notre disposition ses conseils et toutes les ressources du laboratoire. Nous lui exprimons notre vive reconnaissance.

M. E. Kahane, Docteur ès sciences, chef des Travaux Pratiques de Toxicologie de l'Institut d'Hygiène Industrielle et de Médecine du Travail de la Faculté de Médecine de Paris, nous a continuellement aidé de ses conseils. Nous lui en sommes vivement reconnaissant, et le prions d'accepter nos remerciements sincères.

Toute notre amicale gratitude va à notre camarade Antoine, qui a toujours mis très aimablement à notre disposition sa grande expérience sur le problème du dosage de la silice.

Nous assurons de notre bon souvenir nos camarades de laboratoire M^{lle} Salmon, M^{lle} Le Bihan, M^{lle} Lem, MM. Tomesco, Vialard-Goudou, Petit, Durand, Coupechoux, Tabone, Lestocart, avec qui nous avons entretenu durant notre séjour au laboratoire les relations les plus cordiales.

*
* *

Nous suivrons dans notre exposé le plan suivant :

Généralités sur la silice en Biochimie : sa présence dans les êtres vivants. Distinction de deux sortes de silice : silice d'interposition et silice de constitution.

Première partie. — Différentes techniques de dosage de silice, et de destruction de la matière organique en vue de ce dosage.

Deuxième partie. — Imprégnation siliceuse du poumon humain normal.

Troisième partie. — Etude de divers composés siliceux et de quelques poussières atmosphériques.

Quatrième partie. — Empoussiérages naturels et artificiels.

Conclusions.

GÉNÉRALITÉS

La silice en biochimie.

C'est un fait bien connu que la silice existe à l'état normal dans différents organes des êtres vivants. Presque tous les auteurs sont d'accord sur la présence de la silice dans la plupart des tissus examinés. Schulze [15], dans de nombreuses recherches faites sur les muscles et différents tissus, a trouvé que ceux-ci renfermaient de la silice et que les organes âgés en contenaient moins que les organes jeunes. Il a également rencontré de la silice dans le pancréas et la glande thyroïde.

D'après Gonnermann [15] il y a de la silice dans le foie : (de 1 à 3 ‰ de matière sèche) ainsi que dans le thymus, les muscles et les poumons. Ces derniers en contiennent de 70 à 90 % du poids total des cendres.

G. Bertrand [3] admet également la présence de silice normale dans les tissus, et il a fait la critique des résultats de Gonnermann : critique que nous développerons dans le cours de notre travail.

King [8], plus récemment, donne pour le foie une teneur de 0,5 à 2 de silice pour 1.000 gr. de matière fraîche. D'autres auteurs en ont rencontré dans les calculs vésicaux des herbivores ; Lynnes, Gettler et Johnson [15] ont signalé sa présence chez des rats.

Hirsch, Fowweather, Isaacs, Schmidt, Woskressonsky, Mac-Craie, qui ont étudié la silice des poumons, sont tous d'accord pour dire que cet organe en contient normalement.

E. Kahane, grâce à ses méthodes de destruction nitro-perchlorique et nitro-sulfo-perchlorique, a pu effectuer une étude qualitative de la silice dans les tissus [19]. « En « effet la chimie de la silice se distingue par l'existence « de nombreuses espèces dont les individus sont caracté- « risés minéralogiquement, plus encore que chimiquement. « Ces composés siliceux ont été formés dans des condi- « tions de durée, de température ou de pression diffé- « rentes de celles qui peuvent se trouver réunies chez les « êtres vivants. Par suite, lorsque de tels composés sont « rencontrés dans les tissus, l'on peut affirmer avec une « haute probabilité qu'ils sont d'origine externe. »

La destruction nitro-perchlorique ou nitro-sulfo-perchlorique permet d'isoler, lorsqu'elles sont différenciées, les particules siliceuses pouvant exister dans un tissu, en respectant leurs caractères morphologiques et leur identité minéralogique. Le dépôt insoluble obtenu par l'emploi de cette technique de minéralisation peut contenir d'une part des particules de formation compacte, et, d'autre part, de la silice gélatineuse.

La silice gélatineuse trouvée par ce procédé peut, comme l'a pensé E. Kahane, être rangée dans la catégorie de silice de constitution, parce qu'elle provient de silicates naturels plus attaquables, elle est également caractérisée par une certaine régularité morphologique, l'état amorphe, ainsi que des liaisons avec des substances chimiques éliminées au cours de l'attaque perchlorique.

Les particules compactes recueillies peuvent être à leur tour considérées comme se présentant sous cette forme dans le tissu analysé. Elles n'ont par suite pas pu participer à la chimie de la substance vivante. Elles constituent donc la silice d'interposition, puisqu'elles rentrent dans la catégorie des silicates offrant une grande résistance aux agents chimiques, une certaine régularité de forme, une nature cristalline et une composition variable et irrégulière, en un mot offrent une grande analogie avec les individus cristallisés, minéralogiquement définis.

E. Kahane [16] a ainsi démontré dans l'organisme la présence de deux sortes de silice :

- Une première sorte qu'il a appelée « silice d'interposition ».
- Une seconde sorte qu'il a appelée « silice de constitution ».

I. — *Par silice d'interposition* il entend la silice contenue dans les silicates rencontrés à l'état figuré dans divers organismes et qui présenteront aux agents chimiques la même résistance que les silicates naturels correspondants. Ces silicates n'ont pas participé à la chimie de la substance vivante et ont été amenés d'une façon purement mécanique. Ils n'ont qu'une valeur accidentelle.

II. — *Par silice de constitution* il entend la silice des silicates naturels plus attaquables, capables peut-être d'être modifiés par l'organisme et de donner naissance à de la silice soluble circulante, susceptible de participer à la biochimie de la substance vivante.

Grâce à cette distinction, il a été possible de faire des observations importantes.

Par exemple, E. Lematte et E. Kahane [27] ont signalé la présence de particules siliceuses dans le sang circulant et ont montré qu'il était vraisemblablement l'agent de transport de ces particules du poumon aux tissus.

G. Antoine a étudié la silice des poumons. Il a commencé une statistique de la teneur en SiO_2 du poumon normal humain ainsi que de la recherche de sa répartition dans les différentes régions de ce même organe. Cette silice étant uniquement une silice d'interposition.

E. Kahane [18], en étudiant la silice des silicodermés, a rencontré dans certains cas, mais d'une façon seulement partielle, de la silice gélatineuse sur l'origine de laquelle il ne lui a pas été possible de se prononcer avec certitude. En outre, il a toujours observé des particules compactes et plus ou moins volumineuses, qu'une étude faite sur des

animaux débarrassés de leur tube digestif lui a permis de considérer comme des éléments exogènes et répondant à la définition de « silice d'interposition ».

E. Kahane et G. Antoine [19] ont ensuite généralisé l'application de cette distinction en étudiant de nombreux cas particuliers. Ils ont examiné les *tabaschirs* qui sont des concrétions siliceuses trouvées dans les entrenœuds de certaines variétés de bambous. Les caractères physiques et chimiques de la silice des *tabaschirs* les ont conduits à la ranger dans la catégorie de « silice de constitution ».

Dans la carapace des diatomées, ils ont également trouvé de la silice de constitution ; il en a été de même dans les spicules d'éponges (spicules de l'*Ephydatia fluvialis* et de l'*Hyalonema Thomsoni*).

G. Antoine [19] enfin s'est attaché à la recherche des particules siliceuses dans les organes animaux. Après en avoir trouvé dans les poumons de nombreux animaux tels que : singe, cheval, gazelle, autruche, il en a rencontré dans d'autres organes avec une fréquence variable, en particulier chez de gros animaux tels que : bœuf, verrat, taureau, chien. De ces différentes particules compactes qu'il a pu isoler, après les avoir comptées et pesées, il a étudié les caractères physiques et chimiques. Leur biréfringence, leur insolubilité dans la soude diluée bouillante, leur solubilité dans l'acide fluorhydrique, lui ont permis de les ranger dans la catégorie de « silice d'interposition » et de leur attribuer une origine externe.

M. le Professeur René Fabre nous a signalé qu'il serait intéressant de soumettre des animaux à l'expérimentation dans des conditions d'imprégnation pulmonaire toujours identiques au moyen de poussières de composition homogène et connue. Il nous a également demandé de connaître l'importance et la nature de l'imprégnation siliceuse moyenne « que l'on pourrait qualifier de normale » et de rechercher si les particules retrouvées dans les poumons étaient identiques à celles qui avaient été respirées.

C'est pourquoi il a bien voulu diriger nos recherches vers l'étude de l'imprégnation siliceuse du poumon nor-

mal humain pour, à partir de cette étude, fixer en particulier le sort des divers silicates introduits artificiellement dans les poumons. Cette étude a nécessité celle du comportement de différentes poussières vis-à-vis des acides entrant dans le mélange de destruction afin d'en préciser l'analyse.

En résumé, l'objet de notre travail a été une contribution à l'étude de la silice d'interposition, à sa présence et à son sort dans les poumons.

PREMIÈRE PARTIE

Différentes techniques de dosage de la silice et de destruction de la matière organique en vue de ce dosage.

La silice, très répandue dans la nature, élément fondamental de l'écorce terrestre, a été également signalée depuis longtemps dans de nombreux organismes. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que beaucoup d'auteurs se soient intéressés à son dosage.

Nous avons pensé qu'avant d'exposer notre travail, il serait intéressant de donner un aperçu des différents moyens utilisés pour le dosage de la silice en général. Nous dirons également quelques mots du dosage de la silice dans les silicates. Nous indiquerons ensuite les techniques de dosage de la silice dans les substances biologiques. Enfin, après avoir exposé en détail la méthode que nous avons choisie, nous indiquerons les raisons de notre choix.

I

Procédés de détection de la silice.

Avant d'entrer dans le détail des différentes méthodes de dosage de la silice, nous voudrions dire quelques mots des procédés que l'on pourrait appeler : Procédés de détection de la silice dans les tissus.

Ces procédés généralement employés sur des coupes peuvent également donner une idée approximative de la teneur en produits siliceux des organes examinés.

1° HISTOLOGIE SIMPLE [34].

Policard, dans des coupes très minces de poumons silicotiques, a pu retrouver des particules siliceuses. Il les voit alors: « en place ». Ces coupes doivent être peu ou très faiblement colorées par « l'hémalum ». On doit les monter dans l'eau ou la glycérine gélatinée. Le baume de Canada trop réfringent fait disparaître les particules transparentes.

2° MICRO-INCINÉRATION.

Une coupe faite dans un organe contenant de la silice est incinérée. On obtient des cendres, produits de la combustion de l'organe, dans lesquels se trouve la silice qu'il pouvait contenir. A l'aide d'un acide, en général l'acide chlorhydrique, qui est un des meilleurs solvants des particules non siliceuses, on obtient sur la préparation un résidu constitué par les particules siliceuses.

Policard [34] a remplacé la micro-incinération par la destruction des tissus de la coupe à l'aide de quelques gouttes d'acide perchlorique concentré. Les particules sont laissées intactes et on peut les examiner microscopiquement.

3° HISTO-SPECTROGRAPHIE.

Policard et Morel [34] et W. Gerlach [13] ont pu caractériser le silicium au niveau des nodules silicotiques par cette méthode. Le silicium reconnu ainsi correspond à la silice libre et à la silice combinée.

Cette méthode consiste à faire jaillir en un point d'une coupe, point préalablement repéré au microscope, une étincelle de haute fréquence qui est examinée à l'aide

d'un spectrographe à optique de quartz. Le spectre d'émission ainsi obtenu montre les raies caractéristiques, non seulement des métaux constituant les électrodes, mais encore celles des éléments qui se trouvent dans la coupe au point étincelé.

II

Dosage de la silice en général.

Différentes solutions ont été apportées au problème du dosage de la silice. Des techniques spectrographiques et volumétriques ont été décrites ; mais les plus employées sont les méthodes colorimétriques et les méthodes pondérales, qui ont été l'objet d'études et de mises au point très approfondies.

I. — Dosages gravimétriques.

La méthode générale de dosage pondéral de la silice consiste à la séparer de ses sels par l'acide chlorhydrique qui l'insolubilise. On fait bouillir puis on dilue ; on filtre et la silice est pesée après calcination.

1° DOSAGE DE LA SILICE DANS LES SILICATES DÉCOMPOSABLES PAR LES ACIDES [41].

Le silicate est traité par l'acide chlorhydrique et évaporé au bain-marie, jusqu'à obtention d'un résidu sec. Celui-ci est repris par CHCl_3 , puis évaporé, et ce traitement est répété plusieurs fois. Les sels et les oxydes basiques obtenus sont transformés en chlorures par addition d'acide chlorhydrique. Après dilution, on porte à l'ébullition et on filtre. Le filtrat pouvant contenir encore une certaine quantité de silice est évaporé au bain-marie, repris par l'acide chlorhydrique, dilué et traité comme ci-dessus. Il est bon de répéter cette opération plusieurs fois sur les

différents filtrats obtenus afin d'insolubiliser toute la silice. Le contenu du filtre est pesé après calcination.

2° DOSAGE DE LA SILICE DANS LES SILICATES NON DÉCOMPOSABLES PAR LES ACIDES [41].

a) *Fusion au carbonate de sodium.* — On fait fondre dans un creuset le silicate mélangé avec du carbonate de sodium. Le culot fondu, détaché du creuset est dissous dans de l'eau additionnée d'acide chlorhydrique. On chauffe pour décolorer, on verse le tout dans une capsule de platine et on opère comme dans le cas d'un silicate décomposable par les acides.

b) *Méthode de Jannasch à l'oxyde de plomb.* — On mélange dans un creuset de platine le silicate avec du carbonate de plomb. On chauffe pour obtenir la fusion. Le culot fondu est détaché du creuset et mis dans une capsule, avec de l'eau et de l'acide nitrique. On évapore au bain-marie jusqu'à obtention d'une poudre. On reprend alors par l'acide nitrique puis on évapore à sec. On reprend par l'eau et l'acide nitrique, on chauffe puis on filtre. On pèse après calcination. Divers auteurs ont apporté des modifications à cette méthode, tels sont Tananaeff et Pertschik ainsi que Willard et Cake.

3° MÉTHODE TANANAEFF ET PERTSCHIK [11].

Ces auteurs dosent la silice par différence dans les silicates. Ce traitement est fait dans un creuset qui est pesé à la fin de l'opération. Le silicate est traité par un mélange d'acide fluorhydrique, d'acide oxalique et de métaphosphate de sodium. L'acide fluorhydrique décompose le silicate et transforme la silice en fluorure de silicium volatil. Les bases, associées à la silice, qui restent dans le creuset sont transformées en métaphosphates et orthophosphates par l'acide chlorhydrique et le métaphosphate de sodium

et sont pesées sous cette forme. La différence entre le poids du silicate et ce dernier donne la quantité de silice. G. T. Galfajan et W. M. Tarajan [11] ont trouvé par cette méthode des résultats trop élevés en présence d'une grande quantité d'alumine. Ils traitent par SO_3H_2 le résidu du traitement par l'acide fluorhydrique, ce qui élimine cet acide. On obtient ainsi des sulfates que l'on transforme en orthophosphates et métaphosphates par le métaphosphate de sodium.

4° MÉTHODE WILLARD ET CAKE [44].

Ces auteurs utilisent les propriétés déshydratantes de l'acide perchlorique. Ils dissolvent dans une solution concentrée de cet acide le produit dans lequel ils veulent doser la silice. Après une ébullition de 15 à 20 minutes, le liquide est refroidi et dilué. La silice, débarrassée des sels qui l'accompagnaient, et qui sont passés en solution, est recueillie sur un filtre et dosée par les méthodes usuelles.

Cette méthode a été reprise par J. C. Morgan et E. J. King [31]. Ils insolubilisent la silice par l'acide perchlorique. Le résidu de cette opération, une fois lavé, est traité par l'acide fluorhydrique additionné d'acide sulfurique selon la méthode de Galfajan et Tarajan.

Ces auteurs utilisent, pour séparer le précipité de silice obtenu, le filtre d'Emich. C'est une baguette filtrante en verre, dont une extrémité renflée est munie d'une plaque poreuse de pâte de verre.

II. — Dosages colorimétriques.

1° MÉTHODE DIENERT ET VANDENBULKE [7].

Ces auteurs ont repris dans leur méthode le réactif de Meillère.

Ce réactif est constitué par du molybdate d'ammonium additionné d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Si on

l'ajoute à une solution de silice, il donne une coloration jaune due à l'acide silico-molybdique formé. Dienert et Vandenbulke ont trouvé que la suppression de l'acide nitrique donnait une coloration jaune plus intense.

Comme étalons, ils se sont servis de solutions d'acide picrique.

2° MÉTHODE D'ISAACS [15].

Isaacs réduit l'acide silico-molybdique jaune par le sulfite de sodium, ce qui donne une coloration bleue servant au dosage colorimétrique. L'addition d'acide acétique empêche la coloration, due aux phosphates, de se former. En même temps que le dosage, on prépare chaque étalon à partir d'une solution dont la teneur en silice est connue.

G. Bertrand [3] fait très justement remarquer, à propos de cette technique, que le maximum d'intensité de la réaction n'est pas obtenu immédiatement ; la rapidité avec laquelle apparaît la coloration augmente avec le chauffage.

Il ajoute qu'une concentration convenable en acide acétique n'est pas une raison suffisante pour éliminer la coloration due aux phosphates, la différence de vitesse de formation des acides phospho-molybdique et silico-molybdique, étant loin d'être considérable.

III. — Dosages volumétriques.

1° MÉTHODE PAR TRANSFORMATION DE LA SILICE EN FLUORURE DE SILICIUM [41].

La silice est précipitée sous forme de fluosilicate par action de HF et de l'acide sulfurique. Le produit obtenu est entraîné dans une solution de chlorure de potassium bien neutre additionnée d'un égal volume d'alcool.

En présence de l'eau de la solution, ce fluorure de silicium donne de l'acide hydrofluosilicique qui est précipité par le chlorure de potassium à l'état de fluosilicate de potassium insoluble en milieu alcoolique, en mettant en

liberté une quantité équivalente d'acide chlorhydrique que l'on dose par titrage acidimétrique.

2° MÉTHODE BASÉE SUR LA DÉCOMPOSITION DU SILICO-MOLYBDATE [24].

Le silico-molybdate, obtenu par addition de molybdate d'ammonium à une solution contenant de la silice, est un produit jaune servant au dosage colorimétrique. Ce produit peut être décomposé par la soude. Connaissant la quantité de soude employée pour la décomposition, on en déduit la quantité de silice.

III

Dosage de la silice dans les substances organiques.

La caractérisation et la localisation d'une substance minérale, dans les tissus humains ou animaux, nécessitent en général, au préalable, la minéralisation du milieu. C'est-à-dire la destruction de la matière organique. Le but des méthodes de destruction est de simplifier au maximum le milieu. Certains constituants des substances biologiques (les graisses, par exemple) présentent une grande résistance à l'oxydation. La substance recherchée peut être fixée par les particules charbonneuses et graisseuses non attaquées.

Nous allons indiquer les différents modes de dosage de la silice dans les substances organiques, en les divisant en deux groupes :

- 1° Destruction de la matière organique par voie sèche, puis dosage ;
- 2° Destruction de la matière organique par voie humide, puis dosage.

**I. — Dosage de la silice
après destruction de la matière organique
par voie sèche.**

1° MÉTHODE CLASSIQUE.

Après incinération de la substance, on fait une fusion en mélangeant les cendres avec du carbonate de sodium. Le culot obtenu est dissous dans l'eau, et le dosage de la silice se fait alors comme dans le cas des silicates décomposables par les acides (voir p. 13).

Gonnermann, dans une série très étendue de travaux, a utilisé cette technique pour la destruction de la matière organique et le dosage de la silice. G. Bertrand [3] trouve ces chiffres trop élevés. Il dit que Gonnermann a fait l'incinération dans une capsule de porcelaine riche en silice, après s'être seulement assuré qu'elle ne cédait rien aux acides. Il ne faut cependant pas oublier qu'un chauffage poussé a pu provoquer une attaque de la capsule par les cendres alcalines.

Leulier et Policard [28] ont employé une méthode encore plus simple. Ils n'ont pas fait de fusion aux carbonates. Ils dosent simplement la silice en comptant comme telle le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique, après avoir fait les cendres du tissu.

2° MÉTHODE D'ISAACS [15].

La matière organique est détruite dans un creuset en présence d'acide nitrique, de nitrate de calcium et d'acide borique. Par chauffage et addition de quelques gouttes d'acide nitrique il se forme des cendres blanches. Ces cendres sont reprises par l'eau et la soude à l'ébullition. On neutralise alors par l'acide acétique, dont on ajoute un léger excès pour empêcher la formation ultérieure de

phosphomolybdate, dont la teinte est voisine de celle donnée par l'acide silico-molybdique.

A cette solution on ajoute de l'eau et du molybdate d'ammonium. Il se forme une coloration jaune due à l'acide silico-molybdique. Cet acide, réduit par le sulfite de sodium, donne une coloration bleue dont on compare l'intensité avec celle d'un étalon.

3° MÉTHODE DE E. J. KING ET H. STANTIAL [22].

Ce dosage est une modification de la technique d'Isaacs.

La matière organique est détruite par le nitrate d'ammonium et l'acide nitrique. Les cendres où se trouve la silice sont traitées par l'acide perchlorique qui l'insolubilise. Elle est reprise par fusion alcaline et dissolution dans l'eau.

E. J. King et H. Stantial utilisent ensuite la méthode d'Isaacs en employant comme réducteur l'acide 1-2-4 aminonaphtolsulfonique.

De nombreux auteurs ont employé cette méthode, mais en utilisant des réducteurs différents. C'est ainsi que Oberhauser et Schormüller utilisent le chlorure stanneux ; Urlach, l'hydroquinone. On a également utilisé l'hyposulfite de sodium, etc...

4° MÉTHODE DE KING [21].

Cette méthode est l'application aux substances biologiques de celle employée par Dienert et Vandenbulke dans l'eau.

Le tissu séché est traité par de l'acide nitrique, du nitrate d'ammonium et de l'acide borique.

Dans les cendres obtenues, on transforme la silice en silicate de sodium en les traitant par de la soude diluée. On neutralise ensuite l'excès de soude par l'acide sulfurique, mais en ayant soin que la réaction du milieu reste alcaline.

L'acide phosphorique, qui donne la même réaction que la silice avec le molybdate d'ammonium, est éliminé par la mixture magnésienne.

La comparaison se fait avec un étalon à l'acide picrique.

Pour éliminer complètement le phosphore, il est nécessaire d'en connaître la teneur dans les tissus détruits.

5° MÉTHODE VIVARIO ET S. COMHAIRE [43].

La matière organique séchée est calcinée jusqu'à obtention de cendres blanches (à l'aide d'acide nitrique). Le résidu est repris plusieurs fois par l'acide chlorhydrique dilué. Il est traité en dernier lieu par l'eau additionnée d'acide perchlorique.

Après filtration, le résidu est soumis à une fusion en présence de carbonates de sodium et de potassium et de nitrate de potassium. Le produit de la fusion est dissous dans l'eau, puis filtré.

Le dosage est fait colorimétriquement après addition à la liqueur filtrée de molybdate d'ammonium et d'acide sulfurique. La coloration jaune obtenue est comparée avec un étalon constitué à partir d'un silicate de sodium et de potassium de titre connu.

II. — Dosage de la silice après destruction des matières organiques par voie humide.

C'est la méthode qui a été étudiée par Lematte, Boinot et Kahane. Nous l'avons employée pour effectuer nos dosages de silice dans les substances biologiques. En voici le principe :

Après destruction de la matière organique par un mélange oxydant et déshydratant d'acide nitrique et d'acide perchlorique à l'ébullition, la silice se trouve insolubilisée dans le résidu de la destruction. On filtre. La silice est

dosée par différence après traitement par l'acide fluorhydrique et l'acide sulfurique.

MÉTHODE LEMATTE, BOINOT ET KAHANE [26].

Willard et Cake, en 1920, avaient préconisé l'acide perchlorique pour l'insolubilisation de la silice. L. Lematte, G. Boinot et E. Kahane, qui avaient mis au point une technique nitro-perchlorique de destruction des matières organiques, pensèrent à associer cette méthode à l'insolubilisation de la silice selon Willard. C'est-à-dire à insolubiliser la silice en même temps que se faisait la destruction des matières organiques. Cet essai leur ayant donné toute satisfaction, ils l'appliquèrent, avec un égal succès, en collaboration avec M^{me} M. Kahane, à la recherche et au dosage de la silice dans toutes les substances biologiques.

L'acide perchlorique est considéré généralement comme un produit dangereux. En réalité, seul, l'acide perchlorique anhydre est explosif spontanément ; mais ce n'est pas sous cette forme que se manifestent ses propriétés oxydantes et déshydratantes. L'acide perchlorique ordinaire : $d = 1,61$ à 65 % de ClO_4H est au contraire très stable. Le composé se forme avec réaction exothermique. Son mélange avec l'eau se fait avec dégagement de chaleur, mais ne nécessite pas de précautions spéciales. A froid il n'agit pas en oxydant. En règle générale, son pouvoir oxydant n'apparaît qu'à température élevée, au voisinage de son point d'ébullition (203°). Dans ces conditions, l'acide perchlorique hydraté est un oxydant très énergique vis-à-vis des substances organiques diverses.

Kahane qui a étudié systématiquement l'emploi de l'acide perchlorique a proposé deux séries de techniques de destruction :

a) *La méthode nitro-perchlorique.* — Celle-ci ne doit être utilisée que sur des petites quantités de substances organiques (quelques grammes), en l'absence des corps gras.

b) *La méthode nitro-sulfo-perchlorique.* — Cette méthode permet d'opérer en toute sécurité la destruction de plusieurs centaines de grammes de tissus organiques à condition de suivre rigoureusement la technique décrite par l'auteur.

*1° Méthode nitro-perchlorique de destruction
de la matière organique.*

Dans la méthode nitro-perchlorique, l'addition successive ou simultanée des acides nitrique et perchlorique ne semble pas avoir une grosse importance. L'attaque nitrique et l'attaque perchlorique se font toujours séparément, la phase nitrique précédant la phase perchlorique. De plus un excès de l'un ou l'autre réactif ne présente pas d'inconvénients.

Ceci s'explique par le fait que l'excès d'acide perchlorique dilue le milieu organique et tend à le rendre plus homogène. Ainsi sont évités les points de surchauffe avec calcination qui peuvent être le point de départ de réactions vives. Il est facile d'arrêter une réaction qui s'emballe en versant, avec une pissette, un jet d'eau froide sur le ballon en pyrex où elle s'effectue.

Nous avons utilisé cette méthode pour la destruction de petites quantités de matières organiques. Elle nous a donné entière satisfaction, sans jamais occasionner le moindre accident. A condition d'opérer en présence d'un excès d'oxydant, sur une prise d'essai ne dépassant pas quelques grammes et pauvre en matières grasses, cette technique peut être utilisée sans danger. La destruction a l'avantage d'être totale et rapide. (Une dizaine de minutes, quelquefois même beaucoup moins sur les petites prises d'essais.) Voici la technique qui est utilisée. Ce mode opératoire est extrait d'une publication de Kahane de 1932 [17] :

« Introduire 4 grammes de substance dans une fiole conique en pyrex contenant : 10 cm³ d'acide nitrique

« ($d = 1,39$). L'attaque s'amorce généralement à froid,
« mais on peut chauffer sans crainte, en veillant à ce que
« la mousse qui se forme avec certaines substances, ne soit
« pas trop abondante. Une fois la mousse tombée, le chauff-
« fage peut être accéléré sans inconvénient. Dans cette
« première phase de l'oxydation, il s'échappe d'abon-
« dantes vapeurs nitreuses. L'eau de constitution de l'or-
« gane et une partie de l'excès d'acide nitrique distillent,
« cependant que la solubilisation de la matière organique
« s'effectue.

« On poursuit l'ébullition de façon à compléter l'attaque
« nitrique et à concentrer le milieu. Lorsque le volume est
« d'environ 3 ou 4 cm³ le chauffage est interrompu et on
« introduit 15 cm³ d'un mélange nitro-perchlorique cons-
« titué par deux volumes d'acide perchlorique ($d = 1,64$)
« pour un volume d'acide nitrique ($d = 1,39$). Cette addi-
« tion provoque une vive effervescence avec intense élimi-
« nation de vapeurs nitreuses. Le chauffage est alors re-
« pris et la liqueur se concentre : de jaune orangé qu'elle
« était, elle devient progressivement brune, puis noire. La
« température s'élève pendant ce temps et lorsqu'elle
« atteint 170° ou 180° l'attaque perchlorique se déclanche.

« Le début de cette attaque se manifeste par une effer-
« vescence localisée à la surface de séparation de la liqueur
« perchlorique et de la couche de matières non détruites.

« L'attaque est en général vive et très rapide. La réaction
« se poursuit spontanément en s'accéléralant et en devenant
« très vive. Souvent il est préférable de cesser le chauff-
« fage dès le début de cette deuxième phase de l'opéra-
« tion, quand la formation des bulles devient plus active.
« Lorsque l'attaque spontanée est calmée, c'est-à-dire au
« bout d'une minute ou deux, le chauffage est repris et
« peut être poursuivi jusqu'à la fin de l'opération sans
« inconvénients et sans qu'il soit besoin de précautions
« spéciales. La liqueur se décolore progressivement, jus-
« qu'à atteindre une teinte jaune citron qui pourrait per-
« sister ; en ajoutant quelques gouttes d'acide nitrique

« après refroidissement partiel, on obtient une décoloration totale, qui marque le terme de l'opération.

« Le point d'ébullition de l'acide perchlorique ($E = 203^{\circ}$) permet de concentrer aisément le liquide, avant d'effectuer certains dosages où un gros excès d'acide serait gênant ; cette circonstance est assez précieuse, pour qu'on préfère le plus souvent la méthode nitro-perchlorique à la méthode sulfo-nitro-perchlorique, surtout lorsqu'on doit opérer sur de petites quantités de substances. »

Cette méthode peut encore s'appliquer à la destruction de quantités moyennes de matières organiques, mais à la condition de laisser macérer un certain temps les substances à détruire dans une quantité suffisante de mélange nitro-perchlorique. Cette macération est d'autant plus longue que la quantité à détruire est plus grande. Cette technique ne doit alors être utilisée que par un chimiste familiarisé avec l'emploi de l'acide perchlorique.

Le contact à froid favorisant la désagrégation de la matière organique donne une sorte de bouillie qui, lors du chauffage, évite l'action de l'acide perchlorique bouillant sur des substances grasses compactes, action pouvant donner naissance à des réactions vives, capables d'entraîner des pertes par projection et, même dans certains cas, de provoquer des explosions.

Toutefois, pour la destruction de grosses quantités de matières organiques, la méthode nitro-perchlorique ne pourrait s'utiliser sans risques. Dans ce cas, il convient d'employer la méthode nitro-sulfo-perchlorique.

2^e Méthode nitro-sulfo-perchlorique de destruction de la matière organique.

Dans cette technique, après une attaque nitrique, puis une concentration sulfurique, la destruction est terminée au moyen d'acide perchlorique, ajouté goutte à goutte, de façon qu'il puisse réagir immédiatement ; ainsi il n'y a

pas de danger d'accumulation et par suite de déflagration possible.

Il ne semble pas que ce soit l'attaque sulfurique elle-même, en tant qu'oxydation, qui facilite la destruction et puisse expliquer la supériorité de cette technique sur la méthode nitroperchlorique. Après l'attaque nitrique, le chauffage de l'acide sulfurique avec les matières organiques élimine l'eau de constitution des tissus, la température s'élève progressivement et il arrive un moment où celle-ci convient à l'oxydation de la substance par l'acide perchlorique. Aussi, lorsque nous effectuons une concentration très poussée par chauffage des matières organiques avec l'acide sulfurique, de façon à obtenir une masse noirâtre de consistance sirupeuse, l'attaque perchlorique se produit beaucoup plus aisément et, par suite, peut être menée beaucoup plus rapidement. Dans ce cas la température est sensiblement plus élevée que lorsque la concentration sulfurique n'a pas été effectuée ou a été peu intense.

Dans ces conditions, où l'accumulation de l'acide perchlorique ne peut se produire, puisqu'il réagit aussitôt, l'attaque s'effectue régulièrement à la chute de chaque goutte. Elle est rendue visible par le dégagement de vapeurs blanches et par les nombreuses bulles apparaissant au point de chute de la goutte d'acide perchlorique au contact de la matière organique.

Ainsi l'acide sulfurique intervient probablement pour élever la température du milieu, plutôt que comme agent oxydant réel (son rôle à cet égard n'est que secondaire). Il intervient aussi dans la réaction sulfo-nitrique, puis il crée un milieu plus homogène où on ne craint pas la surchauffe.

Il faut éviter de verser directement l'acide sulfurique concentré sur l'organe à détruire, car celui-ci subit une sorte de sclérification superficielle qui s'oppose à la désagrégation rapide du tissu par l'acide nitrique. L'acide nitrique, par contre, liquéfie la substance en quelques minutes à chaud.

L'organe est généralement découpé en morceaux ou

broyé, mais l'attaque s'effectue presque aussi vite sur l'organe entier, la liquéfaction étant toujours rapide lorsque le chauffage peut-être mené assez rapidement. Le seul obstacle au chauffage est la mousse abondante qui se produit avec de nombreux organes (foie, cerveau, poumons, etc...) et en particulier avec les tissus riches en substances lipoïdes. Pour remédier à cet inconvénient on peut diminuer autant que possible la formation de mousse en faisant macérer pendant un certain temps les organes à détruire dans un volume suffisant d'acide nitrique, puis en poussant aussi loin que possible l'attaque nitrique. Alors seulement, dans le mélange refroidi, on ajoute l'acide sulfurique. L'addition d'acide sulfurique ne doit se faire qu'à ce moment car, pour les grosses quantités à détruire, surtout si les organes contiennent des graisses en quantité appréciable, l'acide sulfurique ajouté à froid avec l'acide nitrique donne en présence de l'eau de constitution des organes une température suffisante pour que la réaction s'emballe et produise un dégagement considérable de mousse, ce qui entraîne des pertes appréciables.

Une autre méthode pour détruire la mousse consiste à chauffer violemment au bec Bunsen le ballon en pyrex, juste à la surface du liquide, sur toute la périphérie. Mais lorsque celle-ci se forme trop abondamment, il arrive parfois que l'on ne peut s'en rendre maître.

Cependant il suffit le plus souvent de laisser la substance à détruire en contact avec le milieu oxydant pendant 24 heures, une première destruction nitrique bien conduite évite généralement tout ennui dû à la formation de mousse.

La destruction s'effectue de préférence, dans des ballons en pyrex à fond rond. Le volume final étant toujours très faible, par rapport au volume initial, il est facile d'éviter, avec un ballon à fond rond, les points de surchauffe qui se produiraient nécessairement par l'emploi de récipients à fond plat où le liquide serait dispersé sur une grande surface.

MODE OPÉRATOIRE [4].

« 200 gr. de tissus divisés sont introduits dans un ballon
« en verre pyrex de 1.500 cm³ à fond rond avec 180 cm³
« d'acide nitrique ($d = 1,39$), puis 70 cm³ d'acide sulfu-
« risque ($d = 1,81$). L'attaque débute sans chauffage par
« l'apparition de vapeurs nitreuses ; ceci est dû à la cha-
« leur dégagée au moment de l'addition de l'acide sulfu-
« rique. Ces vapeurs se produisent même dans le cas où
« une première attaque nitrique a été faite en vue d'éviter
« la formation de mousse. Au cas où cette dernière aurait
« tendance à se former, le chauffage au bec Bunsen,
« comme indiqué précédemment, serait amplement suffi-
« sant pour la détruire. On peut alors chauffer très rapi-
« dement sans inconvénients. La substance est dégagée en
« quelques instants. Les graisses forment une couche hui-
« leuse à la surface du liquide.

« Après la phase nitrique a lieu la phase de concentra-
« tion. Lorsque tout l'acide nitrique a réagi, ce qui se
« reconnaît à l'absence de vapeurs nitreuses et à la colo-
« ration foncée que prend le liquide, le chauffage est
« continué de façon à poursuivre la concentration sulfu-
« rique. La destruction dégage alors une odeur rappelant
« celle du caramel. Au cours de cette concentration, le
« liquide se colore d'abord en brun puis en noir, cepen-
« dant que la masse s'épaissit. Le chauffage est poursuivi
« jusqu'à l'obtention d'une liqueur sirupeuse noire foncée,
« adhérant légèrement aux parois lorsqu'on agite le bal-
« lon. La température du milieu va en croissant au cours
« de cette concentration. »

La consistance voulue une fois atteinte, l'attaque perchlorique est entreprise. Pour cela nous avons commencé par employer un mélange composé de 1/3 d'acide nitrique ($d = 1,39$) et de 2/3 d'acide perchlorique ($d = 1,6$) comme l'indique Kahane dans l'exposé de sa technique.

Au cours de nos destructions, nous étant aperçu que pendant l'attaque perchlorique l'addition de petites quan-

tités d'acide nitrique facilitait et accélérail grandement cette dernière, nous avons essayé d'utiliser la suggestion d'un de nos camarades de laboratoire : G. Antoine. Elle consistait à employer un mélange composé d'une partie d'acide nitrique pour une partie d'acide perchlorique. Cet essai nous ayant donné pleine satisfaction nous avons continué dans cette voie.

Le mélange est introduit goutte à goutte à raison de quelques centimètres cubes à la minute, 2 à 3 par exemple. L'acide perchlorique ne peut s'accumuler et réagit ainsi à mesure qu'il est ajouté. Il se dégage d'abondantes fumées blanches et la masse présente une multitude de petites bulles, en particulier autour du point de chute de la goutte d'acide perchlorique.

Lorsque l'acide perchlorique ne réagit pas immédiatement, il est inutile de continuer son addition ; il faut poursuivre la concentration sulfurique jusqu'à l'obtention d'une température convenable pour l'oxydation de la matière organique par cet acide.

Nous mettons en garde contre la diminution du volume d'acide sulfurique employé, que beaucoup de chimistes sont tentés de pratiquer. Cette diminution ne doit se faire, avec de nombreuses précautions, que lorsque la technique est bien en mains.

En effet, à mesure que la teneur en acide sulfurique est diminuée, la destruction devient de plus en plus délicate. Ceci est évident, puisqu'on tend à se rapprocher de la technique nitro-perchlorique dont l'application est difficile sur de fortes quantités de substances.

L'attaque perchlorique se faisant avec dégagement de chaleur, il suffit d'un chauffage modéré pour entretenir la réaction.

La fin de l'attaque se manifeste par une décoloration progressive de la masse. A ce moment le chauffage peut être poussé sans risques pour activer la réaction. Presque toujours le résidu de destruction est coloré en jaune pâle. Il suffit alors d'ajouter après refroidissement partiel quelques gouttes d'acide nitrique ($d = 1,39$), puis de chauffer

quelques instants pour avoir un liquide incolore. Il reste dans le ballon un résidu de 50 à 60 cm³ de liqueur sulfurique. La quantité d'acide nitrique utilisée est variable selon les expériences, mais voisine en général de 100 cm³ pour 200 gr. de substance. L'emploi d'un volume d'acide sulfurique inférieur à celui cité plus haut nécessite une attaque nitrique beaucoup plus longue, pour pouvoir effectuer facilement l'attaque perchlorique.

La quantité d'acide perchlorique ($d = 1,61$) utilisée est de l'ordre de 30 cm³ (pour 200 gr. de substances organiques). L'attaque dure une heure environ, la phase nitrique et la concentration sulfurique occupant plus de la moitié du temps.

Lorsque dans l'attaque perchlorique un excès d'acide perchlorique a été ajouté accidentellement, la masse peut charbonner légèrement et la réaction être irrégulière, il suffit alors d'ajouter, après arrêt du chauffage, quelques centimètres cubes d'acide nitrique ($d = 1,39$) pour rendre la masse homogène et permettre de reprendre l'attaque perchlorique en toute sécurité.

La destruction de la matière organique semble totale, puisqu'il ne subsiste qu'un résidu minéral ne charbonnant pas par calcination, lorsque l'acide sulfurique est évaporé.

La destruction nitro-sulfo-perchlorique se fait dans un ballon en pyrex à fond rond, à long col de préférence, pour éviter les pertes par projection.

Le résidu de destruction, incolore, présente souvent un précipité blanc formé de petites aiguilles, ce précipité est formé par du perchlorate d'ammonium, peu soluble en milieu acide mais qui se dissout par simple dilution au moyen d'eau distillée. Il est recommandé de porter à l'ébullition le résidu ainsi dilué en vue de solubiliser le sulfate ferrique qui aurait pu précipiter au sein de l'acide sulfurique bouillant.

Pour la destruction des os ou des cartilages, l'emploi de la technique nitro-perchlorique évite la précipitation du sulfate de calcium qui se produit par l'emploi de la méthode sulfo-nitro-perchlorique.

Toutefois, ayant eu souvent à détruire entièrement un animal de petite taille, tel que cobaye ou rat, la quantité de substance étant trop grande pour employer la méthode nitro-perchlorique, nous avons préféré faire une première destruction nitrique. Après dilution, nous avons filtré sur un filtre ordinaire. La silice restant sur le filtre, il ne nous restait qu'à faire une destruction sulfo-nitro-perchlorique sur le filtre et son contenu. Cette méthode légèrement plus longue avait le double avantage d'éliminer facilement le calcium et d'éviter les risques opératoires présentés par la méthode nitro-perchlorique, lorsqu'elle est appliquée à des quantités relativement importantes de matières organiques.

DOSAGE DE LA SILICE

Quelle que soit la technique employée : nitro-perchlorique ou nitro-sulfo-perchlorique, le liquide résiduel parfaitement incolore tient en suspension les particules siliceuses contenues dans les organes détruits. Ces particules sont recueillies sur un filtre sans cendres. Après lavage à l'acide chlorhydrique à 10 %, jusqu'à ce que le liquide filtré ne précipite plus par le chlorure de baryum, le filtre est séché puis calciné à poids constant dans un creuset en platine.

On obtient ainsi le poids des particules siliceuses totales de la prise d'essai et de la silice due à la décomposition des silicates par les acides.

Pour connaître la quantité de silice contenue dans ces particules on ajoute au contenu du creuset quelques gouttes d'acide fluorhydrique et 2 gouttes d'acide sulfurique. On évapore avec précaution à basse température en ayant soin de chauffer le creuset latéralement avec une rampe à gaz en forme de fer à cheval. Lorsque l'évaporation est terminée on calcine le creuset et son contenu avec un bec Mecker ; on pèse après refroidissement et on renouvelle ce traitement jusqu'à poids constant. La différence entre le poids du creuset avant le traitement par $(\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2)$ et le poids ainsi obtenu donne la quantité de silice contenue

dans la prise d'essai. Ce dosage n'est qu'un dosage approximatif applicable aux substances très riches en silice comme le sont les particules silencieuses du poulmon. De toute façon, à défaut d'un dosage de silice rigoureux, la perte de poids sous l'influence du mélange $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ est fonction de la composition de la substance et ses modifications permettent, le cas échéant, de rendre compte d'une altération ou d'une modification de la silice ou des bases qui lui sont associées (1).

En effet, au cours de l'attaque par $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ les silicates isolés se comportent de la façon suivante :

SiO^2 disparaît évaporé sous forme de fluorure de silicium volatil.

K^2O se transforme en SO^4K^2

MgO se transforme en SO^4Mg

CaO se transforme en SO^4Ca

Al^2O^3 reste sous forme d' Al^2O^3

Après l'exposé des techniques de destruction et de dosage, nous voudrions dire quelques mots sur les précautions élémentaires à prendre vis-à-vis des creusets de platine au cours d'un dosage. Tout d'abord calciner un quart d'heure au rouge le creuset vide à l'aide d'un bec Mecker. Le laisser refroidir puis le porter dans la balance de précision de 10 à 15 minutes pour lui permettre de se mettre en équilibre de température avec la température ambiante. Ce qui porte à une demi heure le temps qui doit s'écouler entre la fin de la calcination et la pesée. Avoir soin de respecter scrupuleusement cet intervalle pour toutes les pesées successives afin d'opérer toujours dans les mêmes conditions.

Le nettoyage des creusets s'effectue en faisant une fusion

(1) Pour avoir, avec précision, le poids de silice contenu dans les particules isolées, il nous faudrait traiter le résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ par la méthode de Galfajan et Tarajan (11). Un poids connu de métaphosphate de sodium (obtenu par calcination de phosphate sodico-ammonique) est calciné avec le contenu du creuset.

Le produit obtenu, composé de métaphosphates et d'orthophosphates, et son poids diminué de celui du métaphosphate employé donne le poids des oxydes associés à la silice dans la prise d'essai.

de leur contenu avec du bisulfate de potassium et dissolution dans l'eau.

RAISONS DU CHOIX DE CETTE MÉTHODE

Les raisons qui nous ont fait préférer ces méthodes de destruction et de dosage d'E. Kahane sont nombreuses. Avant tout elles éliminent la multiplicité des opérations de fusion, de solubilisation, de transvasements et d'insolubilisation que nécessitaient les autres méthodes. Toutes ces opérations sont faites en même temps et dans un même récipient. Les réactifs qu'elles emploient sont peu nombreux. Ce ne sont que des réactifs volatils et par conséquent aisément purifiables. Elles ne font pas usage de catalyseurs minéraux pouvant troubler les recherches analytiques ultérieures.

L'acide perchlorique provoque la destruction intégrale et rapide de toutes les substances biologiques. Il permet d'obtenir à la fin de l'opération un liquide incolore contenant à l'état insoluble la silice des organes détruits.

La méthode sulfo-nitro-perchlorique ajoutée à tous ces avantages, celui de permettre la minéralisation de grandes quantités de substances, ce qui nous a été d'une grande utilité lorsque nous avons voulu doser la silice dans les poumons humains. Nous avons pu, dans un seul ballon, détruire le poumon entier et avoir ainsi en une seule opération toute la substance minérale qu'il contenait.

Elle permet enfin d'obtenir un résultat important que ne donnaient pas les méthodes habituellement employées. C'est un résultat d'ordre qualitatif. Le résidu du traitement par l'acide perchlorique bouillant, n'est pas en effet nécessairement de la silice pure, quelle que soit la nature de la substance traitée. La silice peut être engagée dans des combinaisons peu attaquables. C'est ainsi que la plupart des silicates d'origine ignée sont extrêmement rebelles à l'action des réactifs chimiques et l'acide perchlorique, pas plus que les autres acides forts, ne peut séparer les bases combinées à l'acide silicique.

La fusion au carbonate, employée dans les méthodes classiques, quelle que soit la forme primitive de la silice, laissait par insolubilisation un précipité de silice sensiblement pure.

Cette méthode à l'acide perchlorique se présente donc comme une méthode de *dosage des particules siliceuses dans les substances biologiques*. Les silicates compacts sont retrouvés après minéralisation dans un état identique à celui sous lequel ils se trouvaient avant cette opération. Le traitement aux acides fluorhydrique et sulfurique, laisse dans ce cas, après calcination, un résidu d'oxydes de fer et d'aluminium, de sulfates de calcium, de magnésium et de métaux alcalins provenant des bases combinées à la silice dans ces silicates. Le poids de SiO_2 est obtenu par différence ainsi que nous l'avons indiqué.

PURIFICATION DES RÉACTIFS

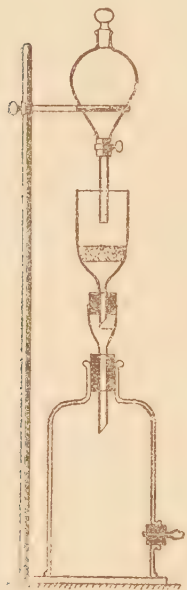
Comme nous devons rechercher et doser des particules siliceuses, nous avons dû purifier tous nos réactifs. La distillation, que nous avons employée au début, était une opération longue et nous obligeait à rejeter les têtes et les queues de distillat pour éviter la présence de particules de verre qui auraient pu venir des appareils. Pour remédier à cet état de choses, et également en vue de l'obtention plus rapide des quantités importantes des réactifs employés, nous avons préféré les filtrer sur un creuset filtrant en verre poreux. G. Antoine ayant imaginé un appareil à bon rendement et ne nécessitant ni une surveillance, ni un remplissage constant, nous nous en sommes servi pour toutes nos filtrations.

Il s'agit d'une cloche à tubulure latérale, surmontée d'un filtre en verre fritté G 3, lui-même surmonté d'un filtre en amiante. Ce filtre en amiante réalise une première filtration qui évite le bouchage et la mise hors de service trop fréquente du G 3, ce qui, du point de vue économique, n'est pas dénué d'intérêt.

Une ampoule à robinet d'une capacité de 2 litres plon-

geant dans le filtre en amiante contient le réactif acide et en assure un débit constant.

On peut ainsi filtrer 2 litres de réactif sans s'occuper de recharger l'appareil. Sous la cloche se place le flacon dans lequel le réactif doit être conservé.



Sous l'effet de l'aspiration réalisée par une trompe à eau, l'acide, après avoir traversé les deux petits filtres, s'écoule directement dans le flacon.

Ce procédé de purification pourrait paraître à première vue un procédé quelque peu sommaire. Dans nos expériences, seules les particules en suspension dans les réactifs pouvaient occasionner des causes d'erreurs. La présence de métaux quels qu'ils soient, provenant en général de la fabrication des réactifs, n'entrant aucunement en ligne de compte dans l'emploi que nous en faisons, il ne nous était pas nécessaire de réaliser des purifications longues et compliquées.

La suppression des particules en suspension ainsi réalisée d'une façon parfaite, nous avons pu employer les acides ordinaires du commerce.

L'acide perchlorique que nous avons utilisé est l'acide perchlorique du commerce, de densité 1.61 à 65 % de ClO_4H .

L'acide nitrique est celui du commerce : l'acide nitrique ordinaire à 36°, $d = 1,39$.

L'acide sulfurique est également l'acide pur du commerce à 66°, $d = 1,81$.

Tous ces acides, filtrés dans l'appareil décrit ci-dessus, ont été conservés dans des flacons non rodés, soigneusement nettoyés, et recouverts d'un cristalliseur.

DEUXIÈME PARTIE

Imprégnation siliceuse du poumon normal

I. — Introduction.

L'atmosphère des villes renferme des quantités importantes de poussières. Ces poussières sont formées, pour une large part, de silice et de silicates. Un chapitre de notre thèse développera d'ailleurs ces données (cf. p. 57, etc.).

En face de cette quantité de poussières, les défenses naturelles de l'appareil respiratoire ne sont plus suffisantes, et une certaine quantité passe dans les poumons en même temps que l'air inspiré.

Tout sujet normal, quel que soit le lieu où il vit, emmagasine ainsi dans ses poumons une certaine quantité de silice provenant des particules exogènes entraînées par l'air inspiré. La paroi bronchique fixe par son mucus un grand nombre de particules qui sont expulsées en même temps que lui par les cils vibratils. Mais une quantité importante se dépose dans le poumon, c'est la partie la plus fine. Elle va jusqu'au fond des alvéoles, puis, à la longue, paraît se fixer, soit dans le tissu conjonctif, soit dans les éléments lymphoïdes.

Le fait de cette fixation a d'ailleurs une importance toute particulière, car si les poussières d'origine organique disparaissent par un processus de digestion assez mal connu, la silice ne subit pas le même sort.

Comme le dit Policard [36], il existe aujourd'hui de véritables pneumoconioses normales, s'il n'était pas para-

doxal de qualifier de normal un phénomène pathologique par sa nature même.

La valeur de l'imprégnation siliceuse normale, ou même pathologique, n'a été déterminée que très exceptionnellement. La littérature, qui abonde en documents radiologiques et histologiques sur la fixation de la silice par le poumon pathologique, en offre beaucoup moins au sujet du poumon normal. Cela est bien explicable.

Le poumon faiblement imprégné, comme l'est celui de l'individu n'ayant pas spécialement été exposé aux inhalations de poussières, n'offre guère d'images radiologiques spéciales. Les documents histologiques eux-mêmes sont peu explicites à ce sujet.

L'étude chimique, qui a l'inconvénient de ne pouvoir être faite qu'après l'autopsie, a le grand avantage de permettre de préciser ces renseignements et de fixer par un nombre l'importance de l'imprégnation du poumon en poussières siliceuses.

C'est ainsi que Policard, en détruisant de minuscules fragments de tissus par l'acide perchlorique, a trouvé dans quatre poumons non silicotiques des particules minérales extrêmement petites de formes et de natures diverses.

Gonnermann [36], ramenant le pourcentage de silice au poids de cendres a trouvé dans le poumon de 70 à 90 % de SiO_2 , dans celles-ci, mais ces résultats étant donné les appareils employés sont sujets à caution, comme nous l'avons dit plus haut (Cf. p. 22).

Liebe et Schadendorff [29] donnent pour une femme de 32 ans une concentration moyenne de 0,04 % de silice dans son poumon et pour une fillette de onze ans une concentration de 0,02 %.

Des résultats encore plus différents sont trouvés par les auteurs suivants que cite Policard [36].

Hirsch constate que les cendres contiennent de 40 à 72 % de SiO_2 .

F. S. Fowweather, trouve dans des poumons non silicotiques une moyenne de 4,42 % de cendres où il y aurait 0,17 % de SiO_2 .

Isaacs trouve 7,5 à 8,2 %.

Quant à Schmidt, il indique un chiffre de 15,4 %.

Ces deux résultats sont également exprimés en SiO_2 par rapport aux cendres.

Woskressonsky note de 3,5 à 10 % de silicates dans les cendres totales. Il observe également que la proportion de silicates augmente avec l'âge.

Mac-Craie donne une proportion de 14,7 % dans les cendres.

Les différences relativement grandes dans les résultats obtenus par les divers auteurs précités semblent dues à ce qu'en effectuant des dosages de silice dans le poumon, ces auteurs ne paraissent pas s'être préoccupés de réaliser un échantillon moyen, ils prélèvent des fragments quelconques de l'organe, et, ainsi que l'a montré Antoine [2], il est impossible en opérant de cette façon de conclure du résultat partiel obtenu au taux moyen du poumon.

D'autre part, il est vraisemblable que l'absence d'une technique bien définie, spécialement adaptée à l'étude des particules siliceuses du poumon, est la raison du petit nombre de documents à ce sujet.

Une technique de ce genre a été établie par E. Kahane. C'est l'application aux poumons de la méthode de destruction sulfo-nitro-perchlorique. Cette méthode, que nous avons développée précédemment, permet d'obtenir, sous forme insoluble, uniquement les particules siliceuses et la silice présentes dans l'organe.

Le premier auteur qui appliqua cette méthode au dosage de la silice dans les poumons fut G. Antoine. Après avoir cherché s'il y avait une localisation élective des poussières siliceuses dans certaines parties du poumon, il a étudié le taux de l'imprégnation siliceuse normale [2].

Il a trouvé que l'imprégnation des deux poumons était sensiblement identique, qu'elle allait en décroissant du lobe supérieur au lobe inférieur ; que la région du hile était la partie la plus imprégnée. Il a démontré par la voie chimique la richesse en particules des ganglions trachéo-

bronchiques qui avait été établie par les méthodes histologiques.

En accord avec Woskressonsky, il a constaté que la teneur du poumon en particules siliceuses augmentait avec l'âge.

Ses dosages lui ont montré que la teneur en silice des silicates isolés du poumon était relativement constante : de 86 à 94 % suivant les organes examinés.

II. — Variations individuelles de l'imprégnation siliceuse du poumon normal.

L'imprégnation siliceuse du poumon est extrêmement variable d'un sujet à l'autre, comme l'a déjà montré G. Antoine au cours d'un travail effectué au laboratoire de Toxicologie de la Faculté de Pharmacie de Paris.

Dans ce travail préliminaire, il a étudié les variations avec l'âge, de la teneur du poumon en particules siliceuses et le pourcentage de silice de ces particules. Nous avons poursuivi ce travail en opérant sur un plus grand nombre d'organes, prélevés au hasard sur des individus morts d'accident ou d'affections diverses.

Nous avons utilisé pour nos recherches la technique de E. Kahane que G. Antoine avait déjà employée avec succès.

Les travaux d'Antoine avaient montré l'impossibilité de se faire une idée de l'imprégnation siliceuse du poumon à partir d'une portion quelconque. A sa méthode, consistant à hacher le poumon et à le malaxer convenablement, nous avons préféré tout d'abord la suivante, qui, nous l'espérons, devait augmenter la rapidité de la minéralisation des tissus.

Après une destruction nitrique assez poussée, nous avons laissé refroidir et nous avons filtré. Nous avons éliminé le filtrat qui ne contenait pas de silice, et nous avons minéralisé le filtre et son contenu par la méthode sulfo-nitro-perchlorique. Nous évitions ainsi le danger que pouvait

présenter le contact à haute température de fortes quantités d'acide perchlorique et nitrique bouillant avec des matières organiques. Cette technique prudente avait l'inconvénient d'être trop longue.

C'est pourquoi, nous étant procuré des ballons en pyrex de capacité suffisante, nous avons préféré faire une destruction nitro-sulfo-perchlorique sur la totalité du poumon, même dans le cas où il y avait un kilogramme et plus de substance. La seule précaution que nous avons prise a été de faire digérer à froid pendant 24 heures toute la matière organique dans une quantité égale d'acide nitrique.

Nous avons réuni les résultats de nos analyses dans le tableau I. Nous avons détruit 27 poumons. Tous provenaient d'individus morts d'accidents, et que, d'une manière générale, nous pouvons considérer comme n'étant pas silicotiques.

Pour chacun d'eux, nous avons indiqué, d'une part le résidu insoluble (silice + silicates), le résidu fixe après traitement par $\text{FH} + \text{SO}^{\text{II}}_2$ et la silice ; le tout en milligrammes. D'autre part, nous avons rapporté ces chiffres à 100 gr. de matière fraîche et donné le pourcentage de silice pour la quantité de résidu insoluble recueilli. Si l'on compare le taux des silicates totaux dans ces différents poumons, on peut constater qu'il existe des différences considérables d'un individu à un autre.

Les résultats qu'Antoine avait obtenus avec 6 poumons lui ont montré que le taux des silicates totaux augmentait progressivement avec l'âge, comme l'avait d'ailleurs déjà dit Woskressensky.

Nos résultats ne sont pas en désaccord avec les siens. Nous voyons en effet que malgré des variations individuelles considérables, le taux des silicates totaux augmente dans l'ensemble de 5 à 65 ans.

Au delà de cet âge, les poumons de trois vieillards que nous avons pu analyser sembleraient nous montrer qu'il y a une diminution du contenu pulmonaire, car il est à

remarquer que l'imprégnation de ces trois poumons est extrêmement voisine.

Cependant ces trois seuls résultats ne nous permettent pas de tirer des conclusions, d'autant plus que nous ne connaissons les antécédents pathologiques d'aucun des individus dont nous avons prélevé les poumons et il va sans dire que pour chaque cas étudié le facteur individuel joue un très grand rôle.

TABLEAU I.

Age	Matière fraîche en gr.	Résidu insoluble (silice + silicates) en mgr.	Résidu fixe après FH + SO ⁴ H ²	SiO ² en mgr.	Silice % dans le résidu insoluble (silice + silicates)	Résidu insoluble (silice + silicates) p. 100 gr. de matière fraîche en mgr.	Silice % de matière fraîche en mgr.
24 jours ..		0	0				
F) 3 m. ½.		traces sensibles					
F) 5 ans..		1,32	0,29	1,03	78 %		
F) 7 ans..	110	4,09	1,01	3,08	75 %	3,71	2,80
H) 24 ans..	450	10,94	1,48	9,46	86 %	2,43	2,10
H) 25 ans..	780	110,88	12,40	98,48	88 %	14,21	12,62
F) 30 ans..	775	35,06	5,56	29,50	84 %	4,52	3,80
H) 33 ans..	1.110	68,57	8,92	59,65	87 %	6,17	5,37
F) 34 ans..	522	23,66	4,40	19,26	81 %	4,53	3,68
H) 35 ans..	575	38,07	5,72	32,35	85 %	6,62	5,62
H) 35 ans..	1.380	242,10	28,28	213,82	88 %	17,54	15,49
H) 35 ans..	330	50,26	8,85	41,41	82 %	15,23	12,54
F) 38 ans..	465	65,05	10,33	54,72	84 %	13,98	11,76
H) 38 ans..	890	14,68	2,01	12,67	86 %	1,64	1,42
H) 39 ans..	650	46,08	4,59	41,49	90 %	7,08	6,38
F) 40 ans..	482	105,15	18,64	86,51	82 %	21,81	17,94
H) 45 ans..	1.320	455,49	43,31	412,18	90 %	34,50	31,22
F) 54 ans..	790	144,97	18,03	126,94	88 %	18,35	16,06
H) 55 ans..	890	126,57	16,73	109,84	87 %	14,22	12,34
H) 62 ans..	1.220	225,41	17,97	207,44	92 %	18,47	17,00
H) 63 ans..	526	67,29	6,70	60,59	90 %	12,79	11,51
	(1/2 p.)						
F) 63 ans..	420	97,78	6,77	91,01	93 %	23,28	21,66
	(1/2 p.)						
H) 64 ans..	352	90,34	15,35	74,99	83 %	25,66	21,30
	(1/2 p.)						
H) 74 ans..	490	46,57	6,03	40,54	87 %	9,50	8,27
H) 80 ans..	545	60,03	5,81	54,22	90 %	11,01	9,94
	(1/2 p.)						
H) 80 ans..	2.055	254,74	28,15	226,59	89 %	12,39	11,02

C'est ainsi que le fait de respirer par le nez ou par la bouche doit influencer sur l'imprégnation pulmonaire. G. Lehmann [25] a en effet montré dans ses travaux qu'il y avait agglomération des poussières par le nez et il en a fixé le taux minimum qui est de 40 %. Ses expériences lui ont permis d'ajouter que le pouvoir d'agglomération ne paraissait pas diminuer avec l'âge.

CONCLUSIONS.

1° En dehors d'un poumon d'homme de 25 et de 2 autres de 38 et de 45 ans, nous pouvons dire que pour les 27 poumons que nous avons étudiés, la teneur en particules siliceuses augmente avec l'âge. Les résultats aberrants proviennent probablement d'organes d'individus ayant été tout particulièrement exposés aux inhalations de poussières siliceuses ou préservés des poussières. En dehors de ces cas exceptionnels, nos constatations contribuent à asseoir d'une façon quantitative la notion d'imprégnation siliceuse normale du poumon.

2° La teneur en silice des silicates isolés du poumon de différents individus est relativement constante ; Antoine [2] l'avait fixée entre 86 et 94 %, nous avons pour notre part trouvé qu'elle variait entre 81 et 94 %, ce qui nous a donné une moyenne de 87 %, en accord avec la moyenne de 88 % trouvée par Antoine.

Dans nos calculs, nous n'avons pas tenu compte du pourcentage de la silice dans le résidu insoluble constaté dans les poumons des enfants de 5 à 7 ans. Ces deux résultats sont sujets à caution étant donné les faibles quantités sur lesquelles nous avons opéré.

III. — Etude sommaire des particules isolées du poumon.

Comme nous avons pu mettre de côté quelques particules retirées des poumons, nous avons étudié la nature

des bases qu'elles pouvaient contenir, et nous avons noté leur dimension.

D'autre part au cours des filtrations que nous avons faites pour séparer ces particules du liquide de destruction, nous avons été amené parfois, étant donnée leur quantité, à utiliser plusieurs filtres pour recueillir le résidu siliceux d'un même poumon. Nous étions ainsi en possession pour un même organe de plusieurs échantillons moyens des particules qu'il contenait et qui étaient ainsi divisées. Ceci nous a suggéré l'idée de savoir si, pour chacun de ces échantillons, la teneur en SiO_2 était identique ou s'il existait des variations avec chacun d'eux. Autrement dit, nous avons cherché à connaître si les particules isolées des poumons étaient homogènes.

1° HOMOGÉNÉITÉ DES PARTICULES.

Pour cela, au lieu de faire un seul dosage de silice sur le résidu total de destruction d'un seul poumon, nous en avons fait un sur le contenu de chaque filtre.

Ces dosages fractionnés qui ont été effectués sur le résidu insoluble de plusieurs poumons, ne nous ont pas montré de différences quant à la proportion de SiO_2 dans les diverses prises d'essai.

Dans le tableau (II) nous avons réuni les résultats obtenus avec deux poumons pris au hasard de ceux que nous avons étudiés dans ce sens.

Dans la première colonne figure, en milligrammes, le poids du résidu insoluble : silice + silicates, obtenu après destruction sulfo-nitro-perchlorique. Dans la seconde, nous avons mis le poids en milligrammes du résidu fixe après traitement par $\text{FII} + \text{SO}_4\text{H}_2$ et dans la troisième colonne se trouve la teneur en SiO_2 pour cent du résidu insoluble.

Comme il est facile de le voir, aussi bien pour les particules du poumon de l'homme de 45 ans que pour celles de l'homme de 80 ans, les différences dans la teneur en SiO_2 pour chaque échantillon analysé est si minime (quand elle existe) qu'elle peut être regardée comme nulle. L'im-

prégation siliceuse des poumons est donc constituée par des particules de même nature.

TABLEAU II.

Filtres		Résidu insoluble silice + silicates en mgr.	Résidu fixe après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Teneur en SiO ² %
Poumons homme de 45 ans.	n° 1.....	125,17	12,49	90 %
	n° 2.....	115,50	11,72	90 %
	n° 3.....	117,65	12,20	90 %
	n° 4.....	99,87	9,36	91 %
Poumons homme de 80 ans.	n° 1.....	44,56	5,26	88 %
	n° 2.....	44,99	4,56	90 %
	n° 3.....	86,67	10,06	88 %
	n° 4.....	80,83	9,08	89 %

2° NATURE DES BASES.

Nous avons cherché à connaître quels étaient les métaux qui entraient dans la constitution des bases associées à la silice de ces particules.

Pour cela nous avons dissous dans l'acide chlorhydrique bouillant le contenu des creusets de platine après attaque par FH + SO⁴H². Nous avons recueilli ainsi le résidu du dosage de toutes les particules pulmonaires et nous avons pratiqué une analyse qualitative sur la solution filtrée, en employant les techniques classiques. Nous avons opéré sur environ 260 mgr. de résidu provenant de la destruction de 19 poumons.

La partie insoluble dans l'acide chlorhydrique n'a pas été laissée de côté, après lui avoir fait subir une fusion au bisulfate de potassium, nous avons dissous le produit

obtenu dans de l'eau. Après filtration, la liqueur a été analysée de la même façon que la première.

Dans ces liqueurs nous avons pu caractériser : du sodium, du fer, de l'aluminium, du magnésium et du calcium. Ces divers métaux sont d'ailleurs ceux qui ont été donnés comme étant les constituants des poussières en suspension dans l'atmosphère (1).

3° DIMENSION DES PARTICULES.

Pour connaître la dimension de ces particules nous avons commencé par les comparer avec des globules rouges. Pour cela nous avons laissé tomber quelques particules pulmonaires sur une lame où se trouvait une goutte de sérum physiologique contenant quelques hématies humaines. Après avoir réparti les poussières au sein du liquide et recouvert le tout d'une lamelle, nous avons examiné au microscope. Quelques grosses particules se sont trouvées de la même taille que les hématies ; mais la majorité était beaucoup plus petite. Pour apprécier exactement la taille de cette catégorie nous nous sommes servi d'une lame micrométrique.

Dans les 7 échantillons de particules que nous avons examinés et qui provenaient des poumons de personnes d'âges différent, nous avons fait les mêmes remarques.

Les poussières pulmonaires se présentent sous trois tailles :

- 1° Les plus grosses ont la taille des hématies soit $7\ \mu$;
- 2° Une partie moyenne dont la grosseur varie entre $3\ \mu$ 5 et $5\ \mu$;
- 3° La majorité mesure moins de $3\ \mu$ 5 leur dimension moyenne étant de l'ordre de $2\ \mu$.

Ces chiffres sont sensiblement les mêmes que ceux déjà donnés par différents auteurs et qu'ils ont rangé dans deux catégories différentes : la première qui comprend des particules de 5 à $10\ \mu$, ce sont les particules de charbon, la seconde celles de 1 à $3\ \mu$, ce sont les particules siliceuses.

TROISIÈME PARTIE

Etude de quelques composés siliceux et de quelques poussières.

I

Composés siliceux.

Nous avons vu que la teneur en SiO^2 des particules siliceuses du poumon est comprise entre 81 et 94 %. Nous avons cherché à savoir si l'attaque perchlorique, entraînant la disparition des bases liées à la silice, n'occasionnait pas une dégradation des particules siliceuses.

Nous avons voulu également déterminer la teneur en silice du résidu d'attaque acide de diverses substances siliceuses afin de voir si, par leur teneur en silice, ces substances pouvaient être considérées comme les précurseurs des particules siliceuses retirées du poumon humain par le même traitement acide.

Avant d'entrer dans le détail des diverses opérations que nous avons faites, nous allons indiquer les produits que nous avons utilisés ainsi que leur composition.

- *Le Quartz*, de formule SiO^2 , est de la silice pure. Il se présente sous forme de rhomboèdres et est inattaquable par les acides.
- *Le Feldspath* est un silicate d'alumine et de potasse, de formule $(\text{SiO}^2)^6 \text{O}^3 \text{Al}^2 \text{OK}^2$, appelé orthose. Il cristallise dans le système clinorhombique. Il fait partie de la catégorie des silicates alumino-alcalins et est inattaquable par les acides.

- *Le Kaolin*, silicate d'alumine hydraté, de formule $(\text{SiO}^2)^2 \text{O}^3 \text{Al}^2 2\text{OH}^2$, contient de 10 à 12 % d' OH^2 . Il est dû à la décomposition des feldspaths de certaines roches granitiques. Il est attaqué par les acides bouillants.
- *Le Talc* est un silicate de magnésium hydraté, de formule $4 \text{SiO}^2, 3 \text{OMg OH}^2$. Il se présente sous la forme d'une poudre très fine et très ténue, graissant les tamis, ce qui rend impossible la séparation des particules de taille différente. Le talc est très difficilement attaquant par les acides. Il ne donne que peu ou pas d'eau à la calcination.
- *Le Ciment*, produit artificiel, est composé de silicates et d'aluminates de calcium, où la chaux est entièrement combinée. Il est attaqué par les acides à l'ébullition en donnant un dépôt de silice gélatineuse.
- *L'Amiante*, silicate de calcium de magnésium ou de fer, c'est une variété d'amphiboles. Les amphiboles proprement dites sont des silicates de magnésium et de calcium de formule $9 \text{SiO}^2 80 (\text{Mg Ca Fe})$ contenant des traces de fer et de manganèse.

L'amiante renferme parfois de l'eau en quantité variable et est attaquée par les acides.

- *Les Verres*, le verre ordinaire ou verre blanc, est un silicate de sodium et de calcium, formé par un silicate alcalin fusible, auquel on ajoute un silicate terreux ou métallique infusible.

Les verres sont extrêmement peu attaquables par les acides concentrés dans les conditions où nous les avons employés.

- *Les Schistes*. Ce sont des argiles durcies sous l'influence de la chaleur et d'infiltrations siliceuses.

Le schiste commun est une roche contenant de l'argile indélébile dans l'eau, où l'on rencontre également du mica, des grains de quartz, de l'alumine et quelquefois du graphite. D'une façon plus générale, on donne le nom de schistes à des masses pré-

sentant une agrégation de leurs différentes parties dans une direction plane particulière.

- *Les Grès* sont des roches composées de grains irréguliers agglutinés par un ciment de nature semblable ou étrangère à la leur. Ils sont ordinairement constitués par du sable, du quartz, avec, en plus, quelques fragments de feldspath, des lamelles de mica. Le tout est souvent consolidé par un ciment de silice, de calcaire ou d'argile, seuls ou mélangés.

Tous ces différents produits, étudiés tant au point de vue de leur résistance aux acides, qu'au point de vue de leur teneur en SiO_2 , ont été, autant que possible, divisés en particules de grosseurs différentes.

Nous avons utilisé pour cela des tamis, nous avons pris les tamis 100, 200 et 300. Voici, extrait de la thèse de J. Chalchat, le diamètre des particules données par chacun d'eux :

- Au tamis 100 passent les poudres dont les grains ont un diamètre égal ou inférieur à 270μ .
- Au tamis 200 les poudres dont les grains ont un diamètre égal ou inférieur à 129μ .
- Au tamis 300, les poudres dont les grains ont un diamètre égal ou inférieur à 90μ .

De chaque produit nous avons prélevé 3 échantillons : un échantillon de grosseur moyenne, un échantillon ne passant pas au tamis 100 et un autre passant au tamis 300. Nous les appellerons échantillon n° 1, échantillon n° 2 et échantillon n° 3.

N'ayant pu tamiser le talc, l'amiante et le coton de verre, nous n'avons étudié pour ces trois produits que l'échantillon n° 1.

Sur l'échantillon n° 1 nous avons fait une attaque sulfurique, une attaque perchlorique et une attaque nitro-sulfo-perchlorique, chacune terminée par un dosage de silice.

Les deux autres échantillons ont simplement été traités par le mélange nitro-sulfo-perchlorique, et sur le résidu

obtenu nous avons fait un dosage de silice. Pour chacune de ces opérations nous avons recueilli sur un filtre le résidu de l'attaque par les acides, puis, après calcination du filtre et de son contenu, dans un creuset de platine, nous avons fait agir le mélange sulfo-fluorhydrique. Enfin nous avons terminé en pesant, après une dernière calcination, le contenu du creuset. Toutes ces manipulations ont été conduites d'une façon strictement semblable à celle employée pour les particules retirées des poumons humains.

Dans les tableaux suivants sont réunis les résultats qui nous ont donné les différentes attaques faites sur divers silicates. Le tableau III est disposé de la façon suivante :

Dans la colonne (1) sont indiqués les différents composés siliceux que nous avons utilisés ; dans la colonne (2) se trouve la nature des échantillons prélevés pour chacun d'eux ; la colonne (3) indique la nature des attaques subies par les divers échantillons.

Dans la colonne (4) nous avons mis le poids en milligrammes du résidu insoluble retrouvé après l'attaque acide et dans la colonne (5) l'aspect macroscopique de ce résidu.

Colonne (6) le résidu fixe obtenu après traitement du contenu de la colonne (1) par les acides fluorhydrique et sulfurique.

Enfin la colonne (7) indique le taux de silice pour cent du résidu insoluble.

Le tableau IV contient la teneur en silice de 4 composés siliceux ayant subi au lieu d'une attaque acide une simple calcination.

Les colonnes (1), (2), (3) de ce tableau correspondent à celles du tableau n° III, la colonne (4) contient le poids en milligrammes après calcination, quant aux colonnes (5) et (6) elles ont trait aux mêmes opérations que celles consignées dans les colonnes (6) et (7) du tableau précédent.

TABLEAU III (suite).

Composés siliceux	Echantillons	Attaques	Poids après attaque et calcina- tion en mgr.	Aspect du résidu obtenu	Résidu après FII + SO ₄ H ₂ en mgr.	Teneur en SiO ₂ %
Ciment	N° 1	Att. sulfurique . . .	9,85	Précipité de si- lice amorphe	1,88	81 %
		» perchlorique..	7,15		0,33	95 %
		» nitro-sulfo- perchlor.	20,06		2,07	90 %
	N° 2	Att. nitro-sulfo-per- chlor.	12,31	Précipité de si- lice amorphe	0,77	94 %
	N° 3	Att. nitro-sulfo-per- chlor.	61,39	Précipité de si- lice amorphe	7,11	88 %
	Grès de Brassac	N° 1	Att. sulfurique . . .	221,81	Précipité de si- lice amorphe	24,25
» perchlorique..			51,51	2,95		94 %
» nitro-sulfo- perchlor.			51,36	2,00		96 %
N° 2		Att. nitro-sulfo-per- chlor.	9,82	Précipité de si- lice amorphe	0,09	99 %
N° 3		Att. nitro-sulfo-per- chlor.	27,61	Précipité de si- lice amorphe	1,31	95 %
Schistes de Brassac		N° 1	Att. sulfurique . . .	117,29	Précipité de si- lice amorphe	22,89
	» perchlorique..		294,55	22,98		92 %
	» nitro-sulfo- perchlor.		75,18	6,57		91 %
	N° 2	Att. nitro-sulfo-per- chlor.	49,72	Précipité de si- lice amorphe	4,17	92 %
	N° 3	Att. nitro-sulfo-per- chlor.	24,24	Précipité de si- lice amorphe	2,99	88 %

Nous avons opéré sur des prises d'essai variant de 100 à 350 mgr. environ, dont les pesées ne figurent pas au tableau, car nous voulions connaître les modifications que pouvait apporter à ces substances l'action des acides, ainsi que la teneur en silice du résidu laissé par cette action et l'aspect macroscopique de ce même résidu.

TABLEAU IV.

Composés siliceux	Echan- tillon	Traitement	Poids après calcination en mgr.	Rendu après FH + SO ⁴ H ²	Teneur en SiO ₂ %
Quartz.....	N° 1	Calcination	51,62	0,30	99 %
Amiante.....	N° 1	Calcination	11,33	4,26	62 %
Coton de verre	N° 1	Calcination	48,93 38,79	16,78 12,23	66 % 68 %
Grès de Bra- sac	N° 1	Calcination	39,28	20,00	49 %

Comme nous le voyons dans les tableaux des pages précédentes, tous les silicates que nous avons étudiés ne se sont pas comportés d'une façon identique dans le cours du traitement par les acides. Nous pouvons de ce fait les ranger dans deux catégories différentes.

Dans la première nous mettrons ceux qui ont été attaqués et qui sont les plus nombreux.

Ils ont subi une dégradation qui a entraîné la disparition apparente des bases liées à la silice. En effet, la partie insoluble que nous avons obtenue dans la liqueur résiduelle s'est toujours présentée sous la forme d'un précipité de silice amorphe. D'autre part, lorsque nous avons fait un essai témoin, qui a consisté à calciner une prise d'essai et à y doser directement la silice, le pourcentage de cette dernière s'est toujours montré très inférieur à celui trouvé dans le résidu de l'attaque acide pratiquée sur une autre partie de la même prise d'essai.

C'est ainsi que pour l'amiante nous avons trouvé 62 % de silice dans un échantillon ayant subi une simple calcination (tableau IV) et une moyenne de 98 % dans le résidu recueilli après l'attaque acide (tableau III). Pour le « grès de Brassac » les chiffres trouvés ont été respectivement de 49 et 95 %.

Dans la seconde catégorie, nous rangerons d'autres sili-

cates qui ne sont pas sensiblement attaqués par le mélange sulfo-nitro-perchlorique et sont retrouvés dans la liqueur acide, provenant du traitement, sous une forme identique à celle qu'ils avaient primitivement : nous les avons toujours retrouvés cristallisés. Ces mêmes silicates se sont aussi présentés comme étant moins riches en silice que ceux qui étaient attaqués par les acides. En effet, le feldspath contient 67 % de SiO_2 , le talc 44 % et le coton de verre 68 %.

Les chiffres que nous venons d'indiquer et qui représentent le pourcentage en silice des produits étudiés sont la moyenne de ceux que nous ont donnés nos diverses opérations.

Nous avons également remarqué que l'attaque effectuée uniquement avec l'acide sulfurique ne poussait pas la dégradation aussi loin que le faisait l'acide perchlorique. La quantité de base liée à la silice disparue est moins importante dans le premier cas que dans le second. Nous voyons en effet dans le tableau n° III que, sauf pour le feldspath et le coton de verre, la teneur en silice du résidu obtenu après attaque sulfurique est inférieure à celle des particules isolées après attaque perchlorique ou nitro-perchlorique.

Parmi tous ces composés siliceux, un seul nous a toujours donné une teneur forte et constante en silice et un résidu d'aspect cristallin, après l'attaque par les acides : c'est le quartz.

Enfin, lorsque nous avons fait un essai témoin consistant en un dosage de silice sur un échantillon calciné, nous avons remarqué que la teneur en silice était du même ordre que celle trouvée dans le résidu d'une attaque acide pratiquée sur une autre partie du même échantillon.

C'est ainsi qu'après simple calcination nous avons trouvé 99 % de silice dans le quartz et 67 % dans le coton de verre (tableau IV) pour 98 % et 68 % dans le résidu de l'attaque acide pratiquée sur ces mêmes produits.

En résumé, si nous ne tenons compte que de la teneur en SiO_2 des composés siliceux analysés, nous pouvons dire

que : le quartz, l'amiante, le kaolin, le ciment, le grès et le schiste de Brassac peuvent être considérés comme les précurseurs des particules siliceuses retirées des poumons humains, car ils contiennent une proportion de silice comprise dans les limites de celles que nous avons trouvées dans les particules isolées de ces organes et qui est de 81 à 94 %.

Cependant, il ne faut pas oublier que parmi les silicates étudiés ceux qui ont une teneur en silice comprise entre 81 et 94 %, c'est-à-dire dans les limites de la richesse en silice des particules isolées du poumon, laissent après l'attaque un résidu de silice amorphe différent du résidu de l'attaque des poumons. Par contre, ceux qui laissent un résidu identique à celui isolé des poumons, ont une teneur en silice bien inférieure à celle des particules pulmonaires. Il faut donc supposer que la teneur en silice des produits isolés des poumons est due à leur richesse en quartz.

II

Poussières atmosphériques.

Après avoir comparé avec les particules siliceuses isolées du poumon l'aspect macroscopique et la teneur en silice des résidus que nous ont donnés divers silicates traités par le mélange nitro-perchlorique, nous avons cherché à poursuivre cette comparaison avec des poussières atmosphériques.

Nous avons considéré comme normaux les individus dont nous avons prélevé les poumons et nous avons pensé qu'au cours de leur existence, l'air qu'ils avaient respiré était celui dans lequel vivent la majeure partie de leurs concitoyens et dans lequel nous vivons nous-même.

Partant de cette donnée, nous avons cherché à étudier quelques poussières atmosphériques courantes. Dans ce but, avec des appareils appropriés, nous avons recueilli des

poussières pendant des temps déterminés. Nous avons pesé ces poussières, puis nous en avons calculé la teneur en SiO_2 .

Les poussières que nous avons étudiées ont été recueillies sur le toit de la Faculté de Pharmacie de Paris à l'aide de trois dispositifs différents. Nous avons ainsi pu obtenir des poussières constituées par les particules en suspension dans l'atmosphère d'un des quartiers les plus aérés de Paris, quartier qui se trouve relativement loin des grands centres industriels ou commerciaux où la proportion de particules est plus importante et dont la teneur en silice dépend davantage des circonstances locales.

Les trois appareils dont nous allons donner la description nous ont également permis de recueillir les deux catégories de poussières atmosphériques :

- 1° les poussières flottantes qui sont constituées par les particules les plus fines et les plus légères ;
- 2° les poussières du sol qui comprennent les particules plus volumineuses.

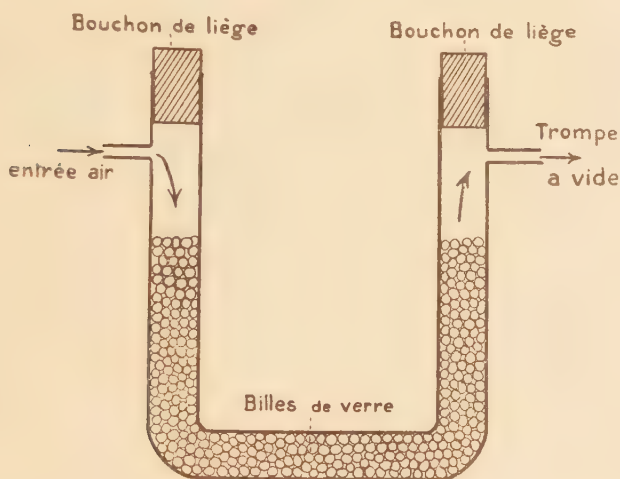
1° *Un pluviomètre* constitué par une bouteille surmontée d'un entonnoir en verre nous a permis de recueillir les poussières au sol. C'est le « Standard deposit gauge » des Anglais. On recueille également la pluie qui entraîne les poussières.

Afin d'éviter le développement des mousses, qu'il aurait été difficile de séparer des poussières et dont le poids aurait faussé nos résultats, nous avons mis au fond de la bouteille quelques centimètres cubes d'eau phénolée.

2° *Une plaque de verre*, constituée par le couvercle d'un dessiccateur, recouvert d'une légère couche de vaseline fondue, nous a permis d'obtenir les poussières au sol et les poussières flottantes.

3° *Le troisième appareil* que nous avons utilisé était constitué par un tube en U dans lequel se trouvaient des billes de verre ordinaire enduites d'une très légère couche de glycérine. Réuni à une trompe à vide, ce tube était le

siège d'un courant d'air continu dont les particules étaient retenues par la couche de glycérine des billes de verre. La quantité de poussière recueillie dans cet appareil a toujours été beaucoup plus faible que dans les deux autres. Il a plus spécialement servi à arrêter les poussières flottantes.



A l'aide d'un débitmètre nous avons mesuré le débit moyen de la trompe d'eau, afin de connaître la quantité d'air passée dans le tube en U. Ce débit moyen a été de 430 litres-heure.

Nous avons recueilli toutes les poussières sur des filtres sans cendres tarés, deux à deux.

Le contenu du pluviomètre a été filtré directement.

L'enduit de vaseline fondue de la plaque de verre, sur lequel se trouvaient retenues les particules, a été au préalable dissous dans le benzène pour une séparation plus facile des poussières.

Le contenu du tube en U et le tube lui-même ont été soigneusement lavés. Les eaux de lavage réunies et filtrées nous ont permis d'avoir toutes les particules retenues.

Après dessiccation des filtres tarés, leur pesée nous a donné la quantité de poussière obtenue. Nous avons alors

fait passer le contenu du filtre dans un creuset de platine pour le transformer en cendres par chauffage à la flamme éclairante d'un bec Bunsen. Nous avons poursuivi le chauffage jusqu'à poids constant. La presque totalité de ces cendres, que nous avons transvasée dans une petite fiole, a été traitée vingt minutes par le mélange nitro-sulfo-perchlorique à l'ébullition pour lui faire subir un traitement identique à celui des particules pulmonaires. Débarrassé de ces cendres, le creuset que nous avons pesé nous a permis d'obtenir par soustraction le poids exact de substance traitée par le mélange perchlorique. Après avoir filtré le résidu de la destruction, nous avons calciné le filtre et son contenu dans un creuset de platine et nous l'avons traité par le mélange : $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ jusqu'à poids constant.

Dans les tableaux suivants V, VI, VII et VIII se trouvent réunis les chiffres obtenus avec les poussières recueillies à différentes époques de l'année.

Ces tableaux sont ainsi disposés :

Colonne 1. Epoque du prélèvement.

- 2. Durée du prélèvement.
- 3. Poids en milligrammes de poussières recueillies.
- 4. Poids en milligrammes des cendres des poussières.
- 5. Quantité de cendre pour cent dans ces poussières.
- 6. Poids en milligrammes du résidu du traitement par le mélange sulfo-nitro-perchlorique.
- 7. Aspect macroscopique du résidu de la colonne 6.
- 8. Poids en milligrammes du résidu après traitement de l'insoluble de la colonne (6) par $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$.
- 9. Teneur en silice pour cent des poussières recueillies.

TABLEAU V. — Poussières recueillies sur une plaque de verre.

Epoque du prélèvement	Nombre de jours	Quantité recueillie en mgr.	Cendres en mgr.	Cendres %	Insoluble dans ClO_4H après calcin.	Aspect de cet insoluble	Poids du résidu après $\text{FH} + \text{SO}_4\text{H}_2$ en mgr.	Silice %
21 mars 11 avril 1935	21 jours	190,18			44,97	Silice amorphe	10,46	77 %
14 avril 3 juin 1935	50 jours	208,15			82,73	Silice amorphe mélangée à quelques particules cristallines	14,17	83 %
20 juin 29 juillet 1935	39 jours	66,49	37,17	56 %	16,87	Silice amorphe mélangée à quelques particules cristallines	2,92	83 %
29 juillet 15 octobre 1935	48 jours	117,12	84,10	72 %	21,92	Silice amorphe mélangée à quelques particules cristallines	3,93	82 %
5 décembre 11 janvier 1935-36	38 jours	97,62	41,53	43 %	25,81	Silice amorphe	4,91	81 %
15 janvier 6 mars 1936	49 jours	126,62	87,14	69 %	43,36	Silice amorphe mélangée à quelques particules cristallines.	11,66	73 %

TABLEAU VI.
Poussières recueillies dans un pluviomètre.

Epoque du prélèvement	Nombre de jours	Quantité recueillie en mgr.	Cendres en mgr.	Cendres %	Insoluble dans ClOH après calcin.	Aspect de cet insoluble	Poids du résidu après FH + SO ₄ H ₂ en mgr.	Silice %
21 mars 11 avril 1935	21 jours	51,92			18,84	Précipité de silice a- morphé	4,70	75 %
14 avril 3 juin 1935	50 jours	124,95			42,18	Précipité de silice a- morphé	7,07	83 %
20 juin 29 juillet 1935	39 jours	45,52	26,59	58 %	13,62	Précipité de silice a- morphé	2,35	83 %
29 juillet 15 octobre 1935	48 jours	57,38	36,25	63 %	22,78	Précipité de silice a- morphé	5,55	76 %
20 octobre 3 décembre 1935	44 jours	71,20	38,43	54 %	22,72	Précipité de silice a- morphé	7,54	67 %
5 décembre 14 janvier 1935-36	38 jours	57,70	32,12	56 %	20,70	Précipité de silice a- morphé	5,44	74 %
15 janvier 6 mars 1936	49 jours	73,73	45,62	62 %	33,74	Précipité de silice a- morphé	13,92	59 %

TABLEAU VII.
Poussières recueillies dans un tube en U.

Epoque du prélèvement	Nombre de jour	Quantité recueillie		Cendres en mgr.	Cendres %	Insoluble dans ClOH après calc. en mgr.	Aspect de cet insoluble	Poids du résidu après $\text{FH} +$ SO_4H_2 en mgr.	Silice %
		en mgr. par période	par m ³						
14 avril 3 juin 1935	50 jours	15,62 pour 516 m ³	0,030			4,92	Précipité de silice amorphe	0,88	82 %
20 juin 29 juillet 1935	39 jours	15,12 pour 403 m ³	0,037	9,48	63 %	3,55	Précipité de silice amorphe	0,88	75 %
29 juillet 15 octobre 1935	48 jours	13,14 pour 495 m ³	0,026	8,89	68 %	4,72	Précipité de silice amorphe	1,43	70 %
20 octobre 3 décembre 1935	44 jours	18,43 pour 454 m ³	0,040	9,79	53 %	4,55	Précipité de silice amorphe	1,36	70 %
5 décembre 11 janvier 1935-36	38 jours	19,77 pour 392 m ³	0,050	9,70	49 %	5,65	Précipité de silice amorphe	1,42	75 %
15 janvier 6 mars 1936	49 jours	25,12 pour 506 m ³	0,049	13,93	55 %	9,99	Précipité de silice amorphe	4,08	59 %

TABEAU VIII.

SiO^2 %

	21 mars 11 avril	14 avril 3 juin	20 juin 29 juillet	29 juillet 15 octobre	20 octobre 3 décembre	5 décembre 11 janvier	15 janvier 6 mars	Moyenne
Plaque de verre	77 %	83 %	83 %	82 %	70 %	81 %	73 %	80 %
Tube en U	75 %	82 %	75 %	70 %	67 %	75 %	59 %	72 %
Pluviomètre		83 %	83 %	76 %		74 %	59 %	74 %
<i>Cendres %</i>								
	20 juin 29 juillet		20 juin 29 juillet	29 juillet 15 octobre	20 octobre 3 décembre	5 décembre 11 janvier	15 janvier 6 mars	Moyenne
Plaque de verre	56 %		56 %	72 %	53 %	43 %	69 %	60 %
Tube en U	63 %		63 %	68 %	54 %	49 %	55 %	58 %
Pluviomètre	58 %		58 %	63 %		56 %	62 %	58 %
<i>Cendres insolubles dans ClO^4H %</i>								
	20 juin 29 juillet		20 juin 29 juillet	29 juillet 15 octobre	20 octobre 3 décembre	5 décembre 11 janvier	15 janvier 6 mars	Moyenne
Plaque de verre	45 %		45 %	26 %	46 %	62 %	50 %	46 %
Tube en U	37 %		37 %	53 %	59 %	58 %	72 %	53 %
Pluviomètre	51 %		51 %	63 %		64 %	74 %	62 %

Le tableau VIII contient calculées pour 100 gr. de poussière : la teneur en SiO_2 , la teneur en cendres et la quantité de l'insoluble dans le mélange sulfo-nitro-perchlorique, des différentes poussières atmosphériques.

La première colonne indique l'appareil ayant servi à faire les prélèvements, les suivantes l'époque de ces prélèvements ; quant à la dernière elle contient la moyenne de silice, de cendre et d'insoluble dans ClO_4H pour chaque appareil.

Nous voyons que dans toutes les poussières où nous avons calculé le poids des cendres pour cent, le pourcentage se montre à peu près identique pour les particules isolées pendant la même période et avec les trois dispositifs différents.

- 1° Les poussières de la plaque de verre contiennent 60 % des cendres ;
- 2° Les poussières du tube en U contiennent 58 % de cendres ;
- 3° Les poussières du pluviomètre contiennent 58 % de cendres.

Nous voyons également que ces différentes poussières ont une résistance variable aux acides. En effet la quantité pour cent de cendres insolubles dans le mélange nitro-sulfo-perchlorique varie avec chacune d'elle. Suivant le dispositif employé pour les retenir, la moyenne a été de :

- 1° 46 % pour les poussières de la plaque de verre ;
- 2° 53 % pour les poussières du tube en U ;
- 3° 62 % pour les poussières du pluviomètre.

Ceci peut s'expliquer par le fait que, si le tube en U recueille plus particulièrement les poussières dites flottantes, les deux autres dispositifs recueillent à la fois les poussières flottantes et les poussières au sol ; mais dans des proportions tout à fait différentes, proportions dépendant essentiellement des conditions atmosphériques.

Enfin nous pouvons remarquer que, en moyenne, la

quantité de silice pour cent est sensiblement identique pour chacune d'elle :

80 % pour les particules de la plaque de verre ;

72 % pour les particules du tube en U ;

74 % pour les particules du pluviomètre.

Ce qui nous donne une moyenne générale de 75 % pour la totalité des poussières recueillies dans les trois appareils pendant une période comprise entre le 21 mars 1935 et le 6 mars 1936.

Ces poussières obtenues par des procédés différents, mais toutes dans le même milieu et qui pourraient paraître identiques à première vue, en examinant seulement leur teneur en cendres, sont cependant différentes les unes des autres. Il en est d'elles comme des différents produits que nous avons déjà étudiés et que nous avons mentionnés plus haut tels que feldspath, kaolin, ciment, talc, etc. Elles offrent une plus ou moins grande résistance aux acides et de cette résistance, il est impossible de faire un pronostic, quel qu'il soit, sur leur teneur en silice.

Enfin, si nous comparons les résidus des attaques acides avec les particules isolées du poumon, nous voyons que :

1° Le résidu que les différentes poussières ont laissé après la destruction nitro-perchlorique a toujours été un dépôt constitué par de la silice amorphe mélangée quelquefois (pour les poussières de la plaque de verre) à des particules cristallines dont la proportion était toujours relativement faible. Par contre le résidu recueilli dans les poumons a toujours eu un aspect cristallin.

2° La teneur moyenne en silice des particules recueillies est comprise entre 72 et 80 % (voir tableau p. 64), tandis que celle des particules pulmonaires est de 81 à 94 %.

Il nous est donc impossible de considérer les poussières atmosphériques, telles que nous les avons recueillies comme le facteur principal de l'imprégnation pulmonaire. Mais comme d'autre part des individus vivant normale-

ment, présentent toujours à partir d'un certain âge, une imprégnation pulmonaire qui est loin d'être négligeable, il est cependant difficile d'admettre que les poussières en suspension dans une atmosphère normale ne pénètrent pas dans les poumons. Et nous pouvons donc supposer que de ces poussières atmosphériques

ou bien la poussière moyenne n'est pas fixée,
ou bien une partie est éliminée,
ou bien il s'opère dans le poumon une transformation,

III

Poussières diverses.

Dans le même but de comparaison avec les particules isolées du poumon nous avons étudié différentes poussières essentiellement constituées par les poussières atmosphériques, mais composées également de débris ménagers, débris de nettoyage, etc., en un mot de tout ce qui peut compter comme poussière dans un lieu habité, ou ayant pu l'être.

Nous allons indiquer leur provenance ainsi que le numéro qui les représentera dans l'exposé de leur analyse :

- | | |
|---|----------------|
| — Poussières recueillies sur le haut d'une armoire. | Poussière n° 1 |
| — Poussière d'un appartement parisien..... | Poussière n° 2 |
| — Poussières recueillies dans un grenier..... | Poussière n° 3 |
| — Poussière d'un appartement inhabité..... | Poussière n° 4 |
| — Poussières recueillies dans un escalier..... | Poussière n° 5 |
| — Poussières de Villeurbanne..... | Poussière n° 6 |
| — Poussières recueillies sur une hotte de laboratoire | Poussière n° 7 |

Nous avons donc des échantillons d'origine tout à fait différente. Certaines, les poussières n° 1, 2, 3 et 5 pro-

viennent d'appartements ou de locaux parisiens, situés dans un quartier non industriel et qui tendent donc à se rapprocher des poussières atmosphériques que nous avons étudiées précédemment.

Une autre, c'est le cas de la poussière n° 7, tout en provenant d'un local situé dans le même quartier que les précédentes était tellement différente par son aspect qu'il nous a semblé intéressant de l'étudier, d'autant plus que le lieu où elle a été recueillie pouvait avoir une influence sur sa composition. La poussière n° 4, par contre, vient d'un appartement inhabité depuis de longues années et qui est situé en pleine campagne.

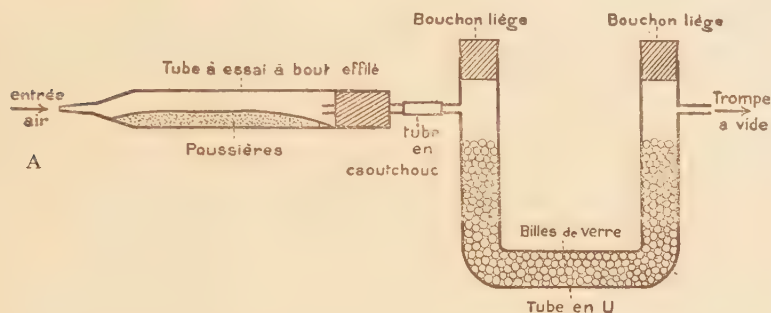
Quant à la poussière n° 6, que nous devons à l'amabilité du service technique de la société de « Fumivorite et Dépoussiérage artificiel », auquel nous adressons nos bien sincères remerciements, elle provient des dépôts faits par la fumée dans une cheminée d'usine. Elle est donc par conséquent strictement industrielle.

Nous nous sommes tout d'abord attaché à diviser ces poussières en particules de grosseurs différentes. Seule la poussière n° 6 a été divisée à l'aide des tamis indiqués p. 51. La tamisation des autres poussières que nous possédions, qui s'était montrée très difficile en raison du fait qu'elles graissaient les tamis, nous a conduit à nous servir du dispositif suivant qui nous a donné de bons résultats.

C'est un appareil constitué par un tube à essai dont nous avons étiré le fond pour en faire un tube aussi fin que possible, terminé par un très petit orifice. L'autre extrémité du tube, fermée à l'aide d'un bouchon perforé, nous a permis de le relier à un tube en U plein de billes de verre enduites de glycérine, absolument semblable à celui que nous avons déjà utilisé pour recueillir les poussières atmosphériques. Dans le tube à essai, nous avons mis les poussières et le tube en U a été relié à une trompe à eau.

L'air arrivant par l'extrémité A du tube balaie la partie supérieure de la couche de poussière et entraîne des particules. Pour activer l'entraînement, il suffit soit de donner de temps à autre une petite secousse à l'appareil, soit de

boucher avec le doigt l'orifice A. Le passage de l'air un instant interrompu est rétabli avec une certaine force, et entraîne ainsi de nouvelles particules. Celles-ci restent



fixées sur les billes de verre, par ordre de grosseur décroissante.

Pour séparer les particules des différentes tailles que nous avons pu recueillir dans cet appareil, nous avons divisé les billes de verre en trois portions égales, en partant de la partie B du tube en U. Après agitation dans l'eau de chaque portion et filtration, nous avons obtenu trois catégories de particules, chacune de grosseur différente.

Nous étions donc en possession pour chaque poussière de :

- un échantillon I comprenant les particules les plus volumineuses ;
- un échantillon II comprenant les particules de grosseur moyenne ;
- un échantillon III comprenant les particules fines.

Nous avons prélevé en outre pour chacune d'elles un échantillon moyen.

A toutes ces différentes prises d'essai (4) nous avons fait subir les mêmes traitements qu'aux silicates et aux poussières atmosphériques déjà étudiées (voir p. 49 et 57).

C'est-à-dire que nous avons traité l'échantillon moyen par le mélange nitro-sulfo-perchlorique et que nous avons

dosé la silice dans le résidu du traitement. Pour les autres échantillons, chaque fois que leur importance nous l'a permis, nous avons opéré de la même façon. Dans le cas contraire, nous nous sommes contenté de rechercher le pourcentage de silice après une simple calcination. En outre, nous avons noté l'aspect macroscopique du résidu laissé par l'attaque nitro-sulfo-perchlorique de chacun des échantillons étudiés.

Nous avons réuni dans le tableau suivant les résultats que nous avons obtenus avec les différentes poussières que nous avons étudiées.

Ce tableau est disposé exactement comme celui dans lequel nous avons consigné les résultats que nous ont donnés les attaques faites sur des silicates.

Nous renvoyons donc p. 52 pour son explication.

La majeure partie de chacune de ces poussières est attaquée par la méthode perchlorique. Au cours du traitement, d'une part tout ce qui est débris organiques est détruit par l'acide perchlorique, d'autre part les silicates qu'elles contiennent subissent une dégradation. Nous tirons cette conclusion du fait que le résidu obtenu dans le liquide résultant du traitement par le mélange nitro-sulfo-perchlorique est en grande partie constitué par un précipité de silice amorphe, mélangé parfois à de rares particules cristallisées. Ceci est dû à la disparition apparente des bases liées à la silice que pouvait contenir la poussière traitée.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer à propos des silicates, nous pouvons dire que l'attaque sulfurique seule ne pousse pas la dégradation aussi loin que l'attaque perchlorique. C'est ce que nous voyons pour les poussières n° 3 et 4, si nous comparons leur teneur en SiO_2 pour cent, calculée d'une part après attaque sulfurique, d'autre part après attaque perchlorique.

Enfin, comme nous avons fait subir à ces différentes poussières les mêmes traitements qu'aux particules isolées des poumons humains, nous pouvons donc comparer entre

TABLEAU IX.

Poussières	Echantillon	Attaques	Prise d'essai en mgr.	Poids après calcination en mgr.	Poids après attaque et calcination en mgr.	Aspect du résidu obtenu	Résidu après FH + SO ² H ₂ en mgr	Teneur en SiO ₂ %
Poussièrè 1	Moyen	Perchlorique		3,42	59,07	Précipité de silice a- morphè	13,09	78 %
	I	Calcination		0,38			1,23	64 %
	II	Calcination		1,00			0,23	39 %
Poussièrè 2	Moyen	Perchlorique		4,37	1,42	Précipité de silice a- morphè	0,69	31 %
	I	Calcination		2,68			0,23	84 %
	II	Calcination		0,97			1,40	68 %
Poussièrè 3	Moyen	Sulfurique			40,75	Précipité de silice a- morphè	12,58	69 %
	I	Perchlorique			23,37		7,33	69 %
	II	Perchlorique			66,60		19,50	70 %
Poussièrè 4	Moyen	Perchlorique			11,68	Précipité de silice a- morphè	2,60	78 %
	I	Perchlorique			7,04		1,64	77 %
	II	Perchlorique			1,16		0,36	69 %
Poussièrè 4	Moyen	Sulfurique			22,34	Précipité de silice a- morphè	7,01	69 %
	I	Perchlorique			14,17		4,34	69 %
	II	Perchlorique			27,19		6,64	76 %
Poussièrè 4	Moyen	Perchlorique			20,10	Précipité de silice a- morphè	4,66	77 %
	I	Perchlorique			13,84		2,97	79 %
	II	Perchlorique			9,27		2,33	75 %
Poussièrè 4	Moyen	Perchlorique			0,98		0,31	68 %
	I	Perchlorique						
	II	Perchlorique						

TABLEAU IX (Suite).

Poussières	Echantillon	Attaques	Prise d'essai en mgr.	Poids après calcination en mgr.	Poids après attaque et calcination en mgr.	Aspect du résidu obtenu	Résidu après FH + SO ₄ H ₂ en mgr.	Teneur en SiO ₂ %
Poussières 5	Moyen	Perchlorique			40,79	Précipité de silice a- morphé accompagné de quelques particules cristallines	9,25	77 %
	I	Perchlorique			52,83		10,99	79 %
	II	Perchlorique			10,13		1,86	82 %
	III	Perchlorique			5,93 0,63		1,41 0,19	76 % 70 %
Poussières 6	Moyen	Calcination	49,93	44,48	121,12	Précipité de silice a- morphé accompagné de quelques particules cristallines	23,59	47 %
	Moyen	Perchlorique			77,10		37,61	69 %
	I	Perchlorique	110		81,53		28,15	63 %
	II	Perchlorique	110		41,34		24,91	69 %
	III	Perchlorique	110		78,13		13,57	67 %
							29,03	63 %
Poussières 7	Moyen	Perchlorique			6,49	Précipité de silice a- morphé accompagné de quelques particu- les cristallines	0,64	90 %
	Moyen	Perchlorique			2,35		0,22	91 %

eux les résidus des attaques acides que nous avons obtenus dans les deux cas.

De cette comparaison il ressort que :

1° Le résidu que nous ont donné ces différentes poussières après traitement par le mélange perchlorique a toujours été formé par un dépôt de silice amorphe.

Seule la poussière n° 7 nous a laissé un résidu cristallin, mélangé il est vrai à de la silice amorphe.

Tandis que le résidu provenant du traitement des poumons avait toujours un aspect strictement cristallin.

2° Après traitement acide la teneur moyenne en silice des particules recueillies est comprise entre 66 et 78 %, excepté pour les poussières n° 2 et 7 pour lesquelles elle est de 84 et 90 % alors que les particules pulmonaires contiennent entre 81 et 94 % de silice.

En résumé, pour ces poussières, nous pouvons donc faire la même remarque que pour celles que nous avons déjà eu l'occasion d'examiner. Nous dirons que telle que nous les avons recueillies, elles ne peuvent être considérées comme un facteur principal d'imprégnation pulmonaire. Nous tenons cependant à faire remarquer que la poussière n° 7 que nous avons notée plus haut comme exception et qui nous a laissé après traitement par le mélange nitro-sulfo-perchlorique un résidu se rapprochant beaucoup de celui trouvé dans les poumons, a été prélevée dans un laboratoire, c'est-à-dire dans un lieu où se rencontrent les poussières les plus diverses et, entre autres, les poussières de verre. Nous ne pouvons cependant tirer des conclusions d'ordre général de ce seul cas particulier.

RAPPORT ENTRE LA TAILLE DES PARTICULES ET LEUR TENEUR EN SILICE.

Avant de terminer cette partie de notre travail qui a trait à l'étude des divers silicates et poussières, nous vou-

drions noter le rapport qui existe entre la grosseur des particules siliceuses et leur teneur en SiO^2 .

Dans toutes les poussières que nous avons étudiées, nous avons dosé la silice dans des particules de grosseur différente. Nous avons constaté dans certains cas que le pourcentage de silice diminuait en même temps que la taille des particules, et ceci, aussi bien dans les portions insolubles dans le mélange nitro-perchlorique, que dans les portions n'ayant subi qu'une simple calcination.

C'est ainsi que :

1° *Dans les silicates*, le ciment par exemple, contient dans ses particules les plus volumineuses (échantillon n° 2) 94 % de SiO^2 , alors qu'il n'y en a que 88 % dans l'échantillon n° 3 (fines particules). Il en est de même pour le « schiste de Brassac » puisque dans la prise d'essai n° 3 nous rencontrons 88 % de silice pour 92 % dans l'échantillon n° 2.

Les chiffres que nous venons de donner proviennent tous de dosages faits sur des particules recueillies après action du mélange nitro-sulfo-perchlorique. Nous constatons des différences aussi marquées si nous faisons ces mêmes dosages sur des portions ayant été simplement calcinées au préalable.

Pour ces dernières expériences nous avons utilisé le « grès de Brassac » que nous possédions en assez grande quantité. Nous avons trouvé que la poussière de grès passant au tamis 300 contient 45 % de SiO^2 tandis que celle qui passe au tamis 100 en contient 53 %.

En possession de ces résultats nous avons voulu diminuer encore la grosseur des particules. C'est en utilisant l'appareil décrit p. 68, à propos des poussières diverses, où nous avons mis la poudre de grès passant au tamis 300, que nous avons obtenu ce que nous désirions. Et nous avons pu là encore vérifier ce rapport entre la taille et la teneur en silice, puisque :

les plus grosses particules contiennent 49 % de SiO^2 ;
les plus fines particules contiennent 44 % de SiO^2 .

2° *Dans les poussières diverses* aucun de nos dosages n'a infirmé ce que nous avons déjà dit à propos des silicates et nous renvoyons au tableau IX où les taux de silice se trouvent inscrits pour chaque échantillon analysé.

3° *Enfin, pour les poussières atmosphériques*, nous avons encore pu vérifier cette relation, car le tube en U qui recueille plus spécialement les poussières flottantes, qui, par leur nature même sont les plus fines, a arrêté des poussières dont la teneur moyenne en silice était nettement inférieure à celle des produits récoltés avec les deux autres appareils (voir tableau, p. 64).

QUATRIÈME PARTIE

Empoussiérages naturels et artificiels.

Dans cette dernière partie de notre thèse, après avoir dit quelques mots sur la silicose pulmonaire en général et ses causes, nous indiquerons les différentes méthodes d'empoussiérage utilisées par divers auteurs. Nous parlerons ensuite des empoussiérages d'animaux de M. le Professeur René Fabre et E. Kahane aux mines de Brassac. Enfin nous exposerons ceux que nous avons fait soit par voie buccale, soit par voie intratrachéale.

GÉNÉRALITÉS SUR LA SILOCOSE PULMONAIRE.

La silicose pulmonaire est loin d'être une nouveauté pathologique. Depuis longtemps, on avait signalé la forme particulière de la pneumoconiose par poussières siliceuses. La chalicose des porcelainiers est connue depuis plus d'un siècle. Mais ces pneumoconioses à silice étaient restées localisées à un petit nombre d'industries. La découverte des moyens mécaniques à grand rendement et à grande vitesse pour travailler les matériaux siliceux a transformé le problème pathologique. L'utilisation de scies mécaniques rapides, dans l'industrie de la pierre, l'emploi du marteau piqueur pour forer les trous, les meules à grande vitesse, l'emploi du jet de sable pour décaper les métaux, etc..., toute cette machinerie à grande vitesse a augmenté d'une façon extraordinaire la production des poussières siliceuses. La silicose, jadis apanage de quelques rares mé-

tiers, a subi une extension considérable, non seulement dans les mines, mais dans une série d'autres industries.

C'est à partir de 1900 que la situation a changé. La silicose, issue de la technique industrielle contemporaine, est devenue plus courante. Le problème de la silicose s'est présenté en général sous une forme médico-légale. Mais pour traiter ce problème il faut connaître parfaitement l'affection pulmonaire, bien la diagnostiquer. Il faut établir une relation sûre entre le genre de travail et la maladie.

Il y avait donc un grand intérêt pathologique à bien connaître cette dernière. Pour en arriver là, outre les observations prises sur les malades, on a cherché à reproduire expérimentalement les pneumoconioses. C'est dans ce but qu'ont été entrepris les empoussiérages artificiels sous toutes leurs formes.

MÉTHODES D'EMPOUSSIÉRAGES ARTIFICIELS.

De nombreux biologistes ont pratiqué des empoussiérages artificiels.

Nous n'avons pas l'intention de citer en détail tous les chercheurs qui en ont fait. Nous voulons simplement nommer les principaux d'entre eux et faire une description succincte des moyens dont ils se sont servis.

Le premier, Arnold [15], en 1885, fit des expériences d'empoussiérages sur des animaux en leur faisant respirer des poussières de sable et de Pémeri.

Bettie, en 1912, dans un important travail sur les pneumoconioses provoquées, utilisa le charbon et les poussières de pierre.

En 1918, Mavrogordato, pour étudier les effets des poussières sur les poumons et leur plus ou moins grande vitesse d'élimination, employa des poussières simples et même des mélanges de poussières tels que : « coal, flue dust and crystalline silica ».

L. U. Gardner [13] en 1920, Mavrogordato [31] en 1922

et H. M. Carleton [6] en 1923-1924 firent également des recherches dans ce sens.

Plus récemment, Haynes [15] et Policard [34] en 1931, Jotten et Arnoldi, Pommerang, Lemon et Higgins en 1935 [21] se sont également occupés de cette question.

A part une modification apportée par Mavrogordato en 1922, consistant à isoler l'animal, de façon que la tête seule soit dans l'atmosphère empoussiérée, tous les appareils sont à peu près identiques.

L'appareil employé par L. U. Gardner et H. M. Carleton est semblable à celui utilisé pour la première fois par Mavrogordato. Il est constitué par une grande boîte en bois comportant sur une de ses faces une plaque de verre. Un éventail à deux lames s'agite dans un canal circulaire placé au fond de la boîte et se continuant jusqu'à son sommet par une sorte de cheminée percée de trous. Des grilles en fils de fer étagées de part et d'autre de cette cheminée servent à supporter les animaux. Jotten et Arnoldi utilisent un appareil à peu près semblable, à cette différence près que les animaux se trouvent sur une grille au milieu de la boîte et que les poussières venant de l'extérieur sont insufflées dans cette dernière à l'aide d'une machine.

Policard [34], en vue d'empoussiérages en série, utilise des bocalx où se trouvent les animaux et un récipient contenant la poussière. Un courant d'air obtenu en pressant une poire en caoutchouc fournit un nuage de poussière que respire l'animal.

Toutes ces expériences d'empoussiérages ont été faites, soit pour étudier les relations entre les pneumoconioses et la tuberculose pulmonaire (L. U. Gardner), soit pour connaître les réactions des poumons vis-à-vis des poussières (Haynes, 1931, Jotten et Arnoldi, Pommerang, Lemon und Higgins) et provoquer des pneumoconioses expérimentales (Bettie, Mavrogordato, Policard). Toutes ont été entreprises par des biologistes ou des histologistes.

A leur tour, des chimistes, M. le Professeur René Fabre et son collaborateur E. Kahane ont voulu étudier le sort

des poussières dans l'organisme en partant d'un autre point de vue : le point de vue quantitatif. Pour vérifier que des animaux de laboratoire soumis à des conditions d'empoussiérage brutal absorbent et fixent des quantités appréciables de poussières de silice, et, pour tâcher d'en connaître les proportions, ces deux auteurs ont installé aux mines de Brassac des animaux de laboratoire.

I

Empoussiérages naturels : animaux de Brassac.

Avant d'exposer nos expériences qui ont consisté à administrer à des rats, cobayes et lapins, soit par la voie buccale, soit par la voie intratrachéale, des particules siliceuses en quantité connue ; nous allons rapporter ici les expériences d'empoussiérages réalisées par M. le Professeur René Fabre et son collaborateur E. Kahane aux mines de Brassac.

Quatre lapins, six cobayes et dix rats ont été installés à proximité d'un tas de poussières de grès sur lequel venait souffler continuellement un jet d'air comprimé.

Ainsi nuit et jour ces animaux subissaient un empoussiérage intense et forcé à dessein. Cette condition expérimentale était absolument différente et hors de proportion de celle où se trouvent normalement pour vivre et travailler les hommes et les animaux les plus exposés.

Le régime auquel étaient soumis ces animaux ne leur a pas permis de résister longtemps. Tous, obligés de respirer une atmosphère surchargée de poussière de grès, sont morts entre le 20^e et le 160^e jour ; seul un lapin a survécu et a été sacrifié après 200 jours d'empoussiérage.

Pour la recherche et le dosage des particules siliceuses ces animaux ont été dépouillés et privés de leur tête et de leur tube digestif qui n'ont pas été étudiés en raison de la difficulté qu'il y a à les débarrasser des particules

étrangères mécaniquement introduites et fixées. La plupart des organes ont été prélevés et étudiés séparément et il en a été de même du reste du corps comportant la majeure partie du squelette et des masses musculaires.

Chaque prise d'essai a été soumise à l'attaque perchlorique, d'après la méthode que nous avons décrite dans les techniques de destruction (p. 28).

Excepté le lapin sacrifié après 200 jours d'empoussiérage, les animaux ont servi uniquement, dans toutes ces recherches, à des essais chimiques. Le dépôt observé après l'attaque perchlorique, et recueilli sur un filtre sans cendres, est incinéré, pesé, puis repris par le mélange d'acide fluorhydrique et sulfurique. Le résidu est pesé. Le poids du dépôt donne la quantité de poussières imprégnant l'organe. La proportion de silice que renferment les silicates totaux ainsi isolés donne un renseignement qualitatif sur la nature de cette imprégnation.

Tous les animaux sont morts dans un état de cachexie avancé et ne paraissaient pas présenter de lésions macroscopiques notables. Ils ont vraisemblablement succombé à l'inanition. Soumis à un régime d'empoussiérage permanent, aussi intense que celui des lapins, des cobayes et des rats des mines de Brassac, les animaux se blottissent dans un coin de leur cage, respirent le moins possible et s'alimentent à peine.

Les rats se sont montrés beaucoup plus résistants que les cobayes à l'empoussiérage. Sur les 10 rats étudiés, 8 sont morts entre le 88^e et le 149^e jour. Alors que les 6 cobayes sont morts du 19^e au 85^e jour. Les lapins ont bien résisté puisque 3 d'entre eux sont morts respectivement le 41^e, le 114^e et le 136^e jour et que d'autre part le dernier a été sacrifié après 200 jours d'empoussiérage.

Les résultats obtenus pour les poumons de ces animaux sont réunis dans le tableau suivant : X où se trouvent notés : la durée de l'empoussiérage supporté, le poids du résidu siliceux trouvé dans les poumons, le poids du résidu du traitement par les acides fluorhydrique et sulfurique, et enfin la teneur en silice des silicates pulmonaires,

calculés d'après la différence entre le poids brut et le poids après traitement par l'acide fluorhydrique ; l'attaque fluorhydrique étant répétée jusqu'à poids constant du résidu.

TABLEAU X. — *Poumons des animaux des mines de Brassac.*

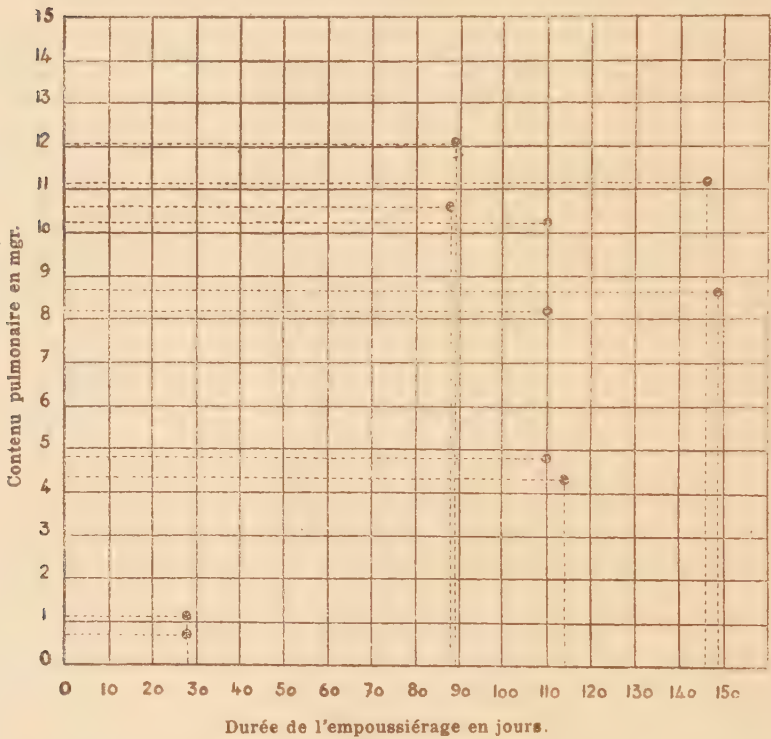
	Durée de la survie en jours	Poids du dépôt siliceux en mgr.	Poids du résidu après FH en mgr.	Résidu %	Teneur en SiO ₂ %
Lapins	41	8,60	0,65	7,6	92 %
	114	23,33	0,97	4,1	96 %
	136	72,69	9,59	13,2	87 %
	200	59,3	11,4	19,2	81 %
Cobayes	19	1,84	0,34	18,4	82 %
	26	0	0	0	
	37	4,00	0,08	2	98 %
	43	4,51	0,30	6,7	93 %
	67	9,44	1,00	10,6	89 %
	85	8,31	0,37	4,5	96 %
Rats	28	0,70	0,31	44,0	56 %
	28	1,11	0,32	29,0	71 %
	88	10,60	2,73	25,8	74 %
	89	12,05	0,31	2,6	97 %
	110	4,78	1,11	23,2	77 %
	110	8,15	2,17	26,6	73 %
	110	10,24	2,58	25,1	75 %
	114	4,37	0,84	19,2	81 %
	146	11,07	74,3	31,3	69 %
	149	8,70	2,44	28,0	72 %

A une exception près, tous les animaux renfermaient une quantité notable de particules siliceuses dans leurs poumons, alors que les poumons des animaux témoins en étaient totalement exempts. (Il n'y a pas lieu de faire de pesée dans ce cas, les essais qualitatifs ayant été négatifs.)

Il est remarquable de constater que la teneur en particules siliceuses du poumon des rats, assez faible pour les premiers décédés (empoussiérage de 28 jours), peut être considérée comme à peu près constante pour ceux qui sont morts entre le 88^e et le 143^e jour. On peut interpréter cette observation, en admettant que, par un processus in-

connu, une saturation du poumon intervient à la longue et qu'il n'y a plus de fixation de particules siliceuses. On peut encore admettre que dans des conditions expérimen-

Contenu pulmonaire des rats des mines de Brassac.



tales déterminées, un équilibre intervient entre la quantité de poussières fixée et la quantité de poussières éliminée. Une dernière hypothèse que l'on peut encore formuler est que la mort de l'animal se produit lorsque la charge du poumon devient supérieure à une certaine limite.

L'imprégnation du poumon par les particules siliceuses croissant avec la durée de l'empoussiérage, le dernier lapin qui a survécu à 200 jours de traitement a été réservé pour une étude plus approfondie.

Cet animal qui ne pesait plus que 1 kgr. 750 contre

2 kgr. 200 au début de l'expérience, présentait une atrophie considérable des masses musculaires et était dans un état de cachexie intense et d'anémie prononcée : 3.900.000 au lieu de 5.000.000 globules rouges avec hypoleucocytose : 2.852 au lieu de 3.000 leucocytes par millimètre cube. La formule leucocytaire était également modifiée. 75 % de polynucléaires au lieu de 60-65 ; 9 % de mononucléaires au lieu de 25 ; 16 % de lymphocytes au lieu de 22.

L'animal a été saigné par section des carotides et son sang recueilli avec le plus grand soin au moyen d'une canule afin d'éviter l'introduction accidentelle de poussières siliceuses. A l'autopsie, les remarques suivantes ont été faites : poumon grisâtre, non homogène, foie petit et décoloré, vésicule biliaire gonflée, rate petite et granuleuse, surrénales et thyroïdes hypertrophiées, testicules petits.

Une autre observation curieuse concerne le titre en silice des particules extraites des poumons des rats et des poumons des autres animaux. On voit en effet que les silicates extraits des poumons des rats ont laissé à deux exceptions près, un résidu à l'acide fluorhydrique de 19 à 31 % (avec une moyenne de 26 %) alors que ce résidu a été de 0 à 18 % avec une moyenne de 8 % pour la charge siliceuse des poumons des cobayes et de 4 à 19 % avec une moyenne de 11 % pour ceux des lapins.

Malheureusement nous ne connaissons pas exactement la nature des particules qui pénètrent dans le poumon. En raison de l'hétérogénéité de la roche, il n'est pas permis de considérer les fines poussières qui atteignent les alvéoles pulmonaires, comme étant d'une composition identique à celle du grès tout-venant. Nous avons en effet montré plus haut en étudiant la poudre de grès de Brassac que la composition de la poussière varie avec la dimension des particules, la teneur en silice étant d'autant plus faible que celles-ci sont plus fines.

Nous ignorons comme on le voit, la composition précise des particules qui ont atteint les alvéoles pulmonaires et nous ne pouvons pas rechercher si les particules ont subi ou non des modifications au cours de leur séjour dans les

poumons. Le grès de Brassac étant attaquable par les acides, les bases associées à la silice passent en solution plus ou moins complètement. Nos expériences témoins effectuées sur des substances biologiques diverses additionnées de poudre de grès de Brassac, laissent un résidu dont la teneur en silice est extrêmement variable et constitué parfois par de la silice pure (cf. p. 54).

Il est donc difficile de tirer de la nature du dépôt recueilli des conclusions correctes comme celles qui résulteraient de l'empoussiérage par une poudre inattaquable aux acides (feldspath, talc, etc...)

Ceci montre qu'il faut attribuer une valeur limitée aux différences observées dans la teneur en silice des dépôts isolés à partir des poumons des rats et d'autres animaux. Cependant comme les destructions ont été faites dans des conditions comparables, on peut admettre que les différences observées, répondent à une certaine variation dans la nature de l'imprégnation siliceuse du poumon. Celle-ci pourrait être due elle-même, soit à une différence dans la nature des particules admises dans les alvéoles pulmonaires, soit à une digestion partielle de certains constituants du grès.

II

Passage des poussières par le tube digestif.

L'origine des poussières siliceuses que l'on trouve dans le poumon a excité la curiosité de nombreux chercheurs.

Deux courants d'opinion se sont formés pour expliquer cette origine.

Certains auteurs affirment que la voie digestive est le moyen de pénétration dans l'organisme des différentes particules que l'on peut retrouver dans le poumon.

C'est ainsi que Bérard et Orfila [38], après avoir nourri des chiens pendant 48 heures avec de la poussière de charbon, en ont retrouvé dans les poumons et le foie, à l'autop-

sie. Cl. Bernard, en employant une technique identique, a fait les mêmes remarques.

Des Américains [6], de leur côté : F. S. Cuthbert et A. C. Ivy, ont fait manger à des chiens des particules de charbon. A l'autopsie ces chiens ont montré une pigmentation noire des ganglions mésentériques. Il en a été de même dans la rate et les cellules étoilées de Kupfer. Une grosse quantité de produit avait d'ailleurs été absorbée : 50 gr. de suie par jour en dehors de la nourriture habituelle.

Toutefois la plupart des auteurs pensent, au contraire, que la voie pulmonaire est la seule voie d'accès des poussières que l'on rencontre dans le poumon.

Pour vérifier d'une part certaines assertions citées plus haut et d'autre part essayer de nous faire une idée aussi exacte que possible sur l'origine des poussières retrouvées dans les animaux mis à Brassac, origine qui en même temps que respiratoire pouvait être aussi digestive, nous avons fait plusieurs séries d'expériences. Toutes consistaient à administrer par voie digestive une quantité connue de poussières. Elles ont toutes été faites sur deux catégories d'animaux de laboratoire identiques à ceux qui avaient été mis à Brassac, c'est-à-dire des rats et des cobayes.

Pour faciliter le passage des particules siliceuses à travers les capillaires intestinaux, nous avons cherché à réduire le plus possible leur grosseur. Nous avons fait nos expériences avec des poudres passées au tamis 300 dont la grosseur moyenne était par conséquent de 45 μ .

Les différentes poussières administrées ont été :

Feldspath ;

Talc ;

Ciment ;

Minéraux schisteux de Brassac ;

Grès de Brassac.

Dans un chapitre précédent nous avons indiqué ce qu'étaient ces différents produits, leur comportement en

présence des acides, ainsi que la taille des particules obtenues après passage au tamis 300 (p. 49, etc.).

1° RATS TRAITÉS AVEC DU TALC, DU FELDSPATH
ET DU CIMENT.

Pour une première série d'expériences nous avons utilisé des rats. Trois groupes de trois rats, dont l'un sert de témoin dans chaque groupe, ont été nourris pendant 30 jours à l'aide de boulettes constituées par du suif et de la farine auxquels nous avons incorporé une quantité de feldspath, de talc et de ciment passé au tamis 300, telle que, chaque rat absorbe par boulette 0 gr. 50 de produit.

Nous avons donné une boulette par jour et par rat. Le régime de ces animaux comportait en outre du pain, de la salade, en un mot, c'était un régime normal diminué assez sensiblement de façon qu'il ne reste rien du produit administré. Nous nous sommes rendu compte avec satisfaction que les animaux avaient une prédilection toute particulière pour notre préparation.

Au bout d'un mois nous avons sacrifié un rat pour chaque catégorie de poudre. Pour la recherche et le dosage des particules siliceuses, nous avons soigneusement dépouillé et privé chaque animal de sa tête et de son tube digestif. Ce dernier fut rejeté en raison des particules étrangères qui auraient pu s'y trouver fixées.

Après les trente jours de traitement aucun des rats que nous avons sacrifiés ne présentait de différence d'aspect. Leur état général était identique à celui du début du mois, leur poids n'avait pas diminué et leur aspect, autant qu'il nous a été possible d'en juger, était aussi satisfaisant que celui des rats témoins.

A l'autopsie aucune lésion caractéristique ne se présentait. Nous avons prélevé différents organes : poumons, foie et reins dont nous avons fait une destruction nitro-sulfo-perchlorique et que nous avons étudiés séparément. Le reste du corps n'a pas été abandonné ; après une première attaque nitrique suivie d'une filtration ayant pour but

d'éliminer le calcium, nous avons traité le filtre et son contenu par la méthode sulfo-nitro-perchlorique (cf. p. 28).

Dans aucun cas l'examen du liquide de destruction ne nous a montré la présence de particules insolubles. Nous en avons déduit que les organes étudiés ne contenaient pas de particules siliceuses.

Nous avons pensé que ces résultats négatifs provenaient peut-être du fait que l'absorption des particules siliceuses par le tube digestif était différente de celle du charbon. Etant donné la difficulté d'augmenter la quantité quotidienne de poussières, eu égard à la taille des animaux en expérience, nous avons songé à augmenter la durée du traitement.

Pour chaque groupe, il nous restait outre un rat témoin, un autre qui avait été déjà traité pendant un mois. C'est ce dernier que nous avons remis en traitement pendant une nouvelle période de 30 jours, toujours à l'aide de boulettes.

Ces animaux, ayant donc subi un traitement de 60 jours, ont été sacrifiés au bout de ce laps de temps et les résultats obtenus ont été négatifs comme les premiers. Pour avoir une idée de l'élimination des poussières administrées nous avons recueilli de l'urine, en quantité aussi importante que possible, et des matières fécales. Dans l'urine, notre méthode de recherches ne nous a pas permis de trouver des particules siliceuses ; le résidu de destruction étant parfaitement limpide, ce qui montre l'absence d'une quantité notable de silice métabolisée. Les fécès, après destruction, nous ont montré un résidu très important qui correspondait à la presque totalité du produit ingéré. En effet, les matières fécales de chaque animal, recueillies pendant une journée, traitées par la méthode sulfo-nitro-perchlorique, nous ont permis de retrouver chaque fois entre 0 gr. 40 et 0 gr. 50 du produit siliceux administré.

2° RATS TRAITÉS AVEC DU SCHISTE ET DU GRÈS DE BRASSAC.

En même temps que ces expériences faites avec du feldspath, du talc et du ciment, nous avons donné également à des rats des boulettes faites de la même façon et contenant 0 gr. 50 de schiste de Brassac pour certains, et pour d'autres une quantité égale de grès de Brassac.

Cette série d'animaux traités exactement dans les mêmes conditions que les autres, dépouillés et détruits de façon identique, n'ont en aucune façon donné des résultats différents. Aucune particule siliceuse n'a pu être retrouvée soit dans les urines, soit dans les divers organes. Les matières fécales par contre contenaient presque la totalité du produit ingéré. Une moyenne journalière de 0 gr. 48 du produit siliceux donné.

3° COBAYES TRAITÉS AU FELDSPATH, AU TALC ET AU CIMENT.

Des résultats négatifs étant ainsi obtenus avec les rats, nous avons pensé avoir plus de succès en utilisant des cobayes. C'est pourquoi nous avons commencé une autre série d'expériences sur ces animaux.

L'expérience nous a montré que le procédé employé pour nourrir les rats ne pouvait servir aux cobayes qui refusent ces boulettes. Il nous fallait cependant connaître avec assez de précision la quantité quotidienne de produits ingérés. Pour cela nous avons fait dans de l'eau une suspension, de titre connu, des différentes poudres que nous voulions administrer. Cette suspension, dont on prélevait après agitation un nombre de centimètres cubes correspondant à 0 gr. 50 de poussières, était donnée à l'animal sous forme de gavage à l'aide d'une sonde œsophagienne.

De la même façon que pour les rats, nous avons pris trois cobayes pour chaque produit : un témoin et deux autres en expérience. Cette dernière a été poursuivie pendant un nombre de jours variant de 30 à 60. Ceci vient du

fait que si l'introduction de la sonde et l'injection du produit se faisaient d'une façon relativement facile, nous avons eu malgré tout un certain nombre de décès, dus, non pas aux poussières ingérées, mais aux perforations stomacales. Quelque précaution que l'on prenne, il est difficile d'immobiliser assez complètement l'animal et un mouvement un peu brusque occasionne souvent la perforation.

Des cobayes qui ont survécu, un sur deux a été sacrifié, débarrassé de sa tête et de son tube digestif. Les organes séparés et le reste du corps ont été détruits comme pour les rats, et avec les mêmes précautions. Comme pour les rats également, quel que soit le temps de l'expérience, aucune particule insoluble n'a été trouvée dans le résidu de destruction.

Par contre, dans tous les animaux morts accidentellement au cours du gavage, nous avons trouvé des particules siliceuses identiques à celles ingérées et cela plus particulièrement dans le liquide de destruction de l'animal entier, dépouillé et débarrassé de ses organes internes.

4° COBAYES ALIMENTÉS AU SON SILICEUX.

Malgré ces expériences négatives, nous avons résolu de poursuivre plus longtemps nos empoussiérages par voie buccale. La technique de gavage nous ayant occasionné des accidents, nous avons songé à faire absorber les particules siliceuses par les animaux, après mélange avec du son.

Ayant évalué la quantité de son mangée par un cobaye en un jour, nous en avons pesé une quantité déterminée à laquelle nous avons joint la quantité de poussière correspondant à 0 gr. 50 par jour. Cette expérience faite avec des animaux déjà traités au feldspath, au talc et au ciment depuis deux mois, a été poursuivie pendant une durée de trois mois. N'ayant eu aucune perte d'animaux, nos trois cobayes ont donc été sacrifiés après cinq mois de traitement. A ce moment, comparés aux cobayes témoins, ceux en expérience se portaient aussi bien et accusaient comme

les premiers une légère augmentation de poids. L'autopsie ne nous a montré aucune différence macroscopique entre les organes des uns et des autres, les cobayes témoins ayant été sacrifiés en même temps que ceux empoussiérés.

La destruction effectuée comme précédemment, c'est-à-dire après avoir rejeté la tête, la peau, et le tube digestif n'a montré nulle part la présence de particules siliceuses dans le résidu de destruction.

Par contre, les matières fécales de ces animaux, comme celles des premiers, nous ont montré, après destruction, une énorme quantité de particules siliceuses : en moyenne 0 gr. 40 par jour et par animal.

Nous avons également cherché à savoir si l'urine contenait de la silice. Une destruction nitro-sulfo-perchlorique sur les quantités que nous avons pu recueillir, de (6 à 10 cm³) quantités relativement faibles, ne nous a permis de retrouver ni particules siliceuses, ni flocons de silice métabolisée. Cette absence doit sans doute être imputée à la minime quantité d'urine que nous avons pu recueillir, tant sur les rats que sur les cobayes. En effet, E. Kahane et M^{me} M. Kahane ont montré que la solubilité de la silice dans l'acide perchlorique était certainement inférieure à 1/500.000 [16].

Tous ces résultats négatifs obtenus n'ont rien de surprenant. Il ne faut pas oublier, en effet, que ces expériences avec des particules siliceuses ont eu comme point de départ d'autres expériences positives faites avec des particules de charbon (par Cuthbert, Ivy et d'autres auteurs que nous avons cités plus haut, cf. p. 84). Mais l'absorption intestinale de la silice n'est pas forcément identique à celle du charbon.

D'autre part, les animaux utilisés pour ces deux séries d'expériences ne sont pas les mêmes. Ce sont des chiens qui ont absorbé le charbon et des rats et des cobayes les particules siliceuses. La question de l'absorption intestinale apparaît là encore sous un autre aspect, elle n'est certainement pas la même chez ces différents animaux.

Enfin rien ne prouve que si nous avons fait absorber à

nos animaux de la silice colloïdale, il ne nous aurait pas été possible d'en retrouver dans leurs poumons. Mais nous avons tenu dans ces expériences à nous maintenir dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles avaient vécu les animaux des mines de Brassac et où vivent la majeure partie des êtres humains, conditions qui consistent à absorber par voie buccale uniquement des poussières siliceuses.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par les partisans de la voie respiratoire comme le seul mode d'entrée des particules siliceuses dans les poumons ; et ils sont la majorité. Entre autres travaux, pour appuyer nos expériences, nous citerons ceux que E. J. King a faits avec de la silice, en collaboration avec H. Stantial et M. Dolan [24].

Ces auteurs, pour étudier l'élimination de la silice par l'urine, ont fait absorber à des chiens du quartz pulvérisé et une solution de silicate de soude. A la fin du traitement, ils ont sacrifié les animaux. L'analyse des organes ne leur a montré aucune augmentation du pourcentage de silice dans les tissus.

Ces différentes expériences peuvent donc nous permettre de conclure que, dans la vie courante, la voie digestive n'est pas celle par laquelle les particules siliceuses passent dans les poumons.

III

Empoussiérages par injections intratrachéales

INTRODUCTION.

L'étude de l'imprégnation siliceuse du poumon normal humain nous a montré que les particules retirées de cet organe possèdent une teneur élevée en SiO_2 comprise entre 81 et 94 %, et présentent un aspect cristallin.

Les empoussiérages par la voie digestive que nous avons entrepris et dont nous venons d'indiquer les résultats nous

ont montré que pour une dose journalière de 0 gr. 50 de produit, nous n'avons découvert aucune augmentation du taux de silice dans les poumons. Par conséquent, chez nos animaux en expérience, la voie respiratoire est la seule voie d'accès dans le poumon des particules que l'on peut y retrouver.

D'autre part, l'analyse de divers silicates et poussières nous a permis de nous rendre compte que leur taux de silice était en général bien inférieur à celui des particules retirées des poumons, et que très peu d'entre eux présentaient, après traitement nitro-perchlorique, un résidu cristallin identique à celui retiré de ces organes.

Nous avons ainsi pu établir une comparaison entre ces divers silicates et poussières et les particules pulmonaires.

Elle nous a en effet montré que :

1° Lorsque la teneur en silice des poussières étudiées est identique à celle des particules pulmonaires, l'aspect du résidu que laisse leur attaque perchlorique n'est pas cristallin.

2° Lorsque les portions insolubles de ces poussières dans le mélange nitro-perchlorique sont identiques aux particules laissées par la minéralisation des poumons, c'est leur teneur en silice qui n'est plus comprise entre 81 et 94 %, limites que nous avons citées plus haut.

Il apparaît donc que les particules siliceuses isolées du poumon normal par la méthode sulfo-nitro-perchlorique sont essentiellement différentes de celles que nous avons eu l'occasion d'étudier.

C'est pourquoi nous avons essayé de répondre à la question suivante :

« N'y aurait-il pas modification et transformation des silicates par le poumon ? » Ensuite, nous avons voulu savoir si la richesse en silice ou la taille des particules n'était pas la raison d'une fixation élective de la part de cet organe.

Pour résoudre ces questions, il nous fallait connaître la quantité de poussière qui entraît dans les poumons, car en

même temps que nous voulions voir si les produits introduits avaient subi des modifications, nous voulions avoir une idée de la quantité qui pourrait s'y retrouver au bout de temps plus ou moins longs.

Les différentes techniques employées couramment pour faire des empoussiérages et que nous avons rapportées plus haut, qu'elles consistent à mettre des particules en suspension dans une atmosphère ou à faire respirer un brouillard d'acide silicique (E. J. King, H. Stential et M. Dollan [23]), ne permettent pas de connaître la quantité de produit qui est entrée dans le poumon.

A la méthode de destruction nitro-sulfo-perchlorique de E. Kahane qui nous permettait de retrouver à l'état insoluble l'intégralité de la silice contenue dans un organe, il nous fallait adjoindre une méthode permettant d'introduire dans celui-ci une quantité parfaitement connue de poussière siliceuse.

C'est la raison pour laquelle nous avons songé à utiliser une technique déjà employée par des biologistes américains : Keettle et Hilton [20]. Ces deux auteurs injectent les poussières dans le poumon par voie intra-trachéale.

Nous avons pensé à injecter dans la trachée des chiens des quantités connues de poussières siliceuses pour voir ce qu'elles devenaient. Mais les chiens, tels qu'on peut les avoir dans les laboratoires, contiennent tous plus ou moins des particules dans leurs poumons. Pour opérer sur ces animaux, il faudrait posséder de tous jeunes chiens en nombre suffisant, ce qui est pratiquement impossible. En face de cette difficulté nous avons songé à utiliser les cobayes dont les poumons sont entièrement dépourvus de particules siliceuses. Mais nous nous sommes aperçu que la plupart d'entre eux succombaient au traumatisme causé par le passage de la sonde dans la trachée. Nous avons alors songé à utiliser des lapins après nous être rendu compte que les poumons de nombreux animaux témoins ne contenaient jamais de particules siliceuses. C'est pourquoi toutes nos expériences d'empoussiérage artificiel ont été faites sur ces animaux.

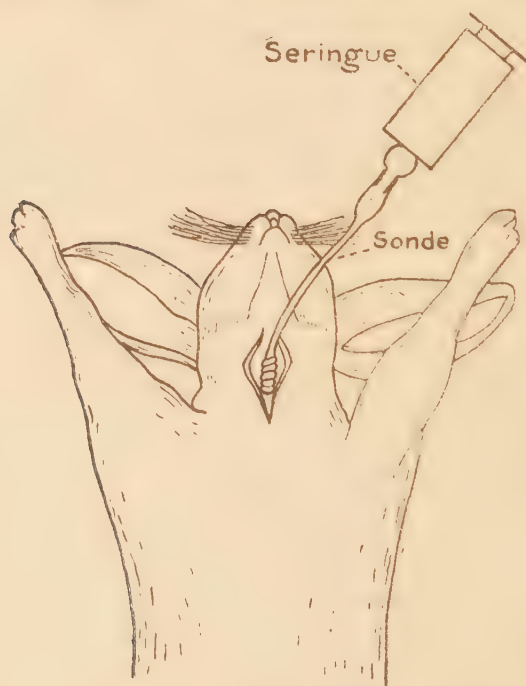
Cette méthode d'injection intra-trachéale, lorsqu'on la possède bien en main, donne d'excellents résultats quantitatifs. Elle peut se diviser en deux temps : tout d'abord trachéotomie de l'animal en expérience, puis injection du produit à l'aide d'une sonde et d'une seringue.

TECHNIQUE DE TRACHÉOTOMIE.

Le lapin est placé sur le dos, les pattes fixées à la planche à contention, la tête serrée dans le mors. L'animal n'est pas endormi.

On rase la région de la trachée du lapin sur toute la longueur du cou. Après tamponnement à la teinture d'iode, on pratique parallèlement à la trachée une incision médiane de la peau de 3 cm. à trois travers de doigt au-dessous du larynx.

Avec deux pinces et un bistouri on sépare les deux



Lapin.

couches musculaires médianes : sterno-mastoïdien et sous-hyoïdien ; la trachée est alors dénudée avec une sonde cannelée qui est ensuite glissée sous elle, de façon à la faire ressortir et faciliter ainsi l'opération.

Entre deux anneaux on fait une large incision pour le passage de la canule que l'on enfonce jusqu'à butée. L'incision de la trachée doit être d'un diamètre supérieur à celui de la sonde que l'on introduit, de façon que pendant l'injection, alors que la sonde est bouchée, l'animal puisse respirer.

TECHNIQUE DE L'INJECTION.

Dans l'incision pratiquée entre les deux anneaux de la trachée nous avons introduit une sonde creuse en caoutchouc. Cette sonde, d'un diamètre équivalent approximativement à la moitié de celui de la trachée, a été enfoncée dans cette dernière jusqu'à ce que l'on sente une résistance. On se trouve alors au niveau de la bifurcation des bronches.

L'embout en fer d'une seringue de 5 cm³ est alors placé dans la partie évasée de la sonde : la suspension à injecter contenue dans la seringue est poussée lentement pour éviter les réactions de l'animal et lui laisser la possibilité de respirer.

Pendant tout le temps de l'injection il est nécessaire de tenir la seringue aussi droite que possible et de lui faire accomplir un lent mouvement de rotation. Ces deux conditions sont absolument nécessaires pour obtenir une bonne injection. En effet, les particules en suspension ont tendance par leur poids à se rassembler à la base de la seringue. Le mouvement de rotation donné à cette dernière les empêche de se rassembler toutes en un même point et facilite leur glissement.

Avant de retirer la sonde, on rince deux fois la seringue avec 3 cm³ du liquide ayant servi à faire la suspension et on les injecte. De cette façon seringue et sonde sont lavées et débarrassées des particules qui auraient pu y adhérer.

Une fois l'injection terminée, l'incision est recousue, le

plan musculaire avec du catgut et la peau avec des crins.

Poussières utilisées. — Pour ces expériences nous nous sommes servis, parmi les produits que nous avons déjà étudiés, de ceux que nous possédions en quantité suffisante.

Nous avons employé : la silice pure, des silicates attaquables ou non par les acides et des poussières rentrant dans la catégorie des poussières en général.

Les silicates sont représentés par :

- le feldspath ;
- le kaolin ;
- le talc.

La silice pure, par du quartz.

Quant aux poussières, ce sont : les unes, des poussières d'un appartement inhabité ; les autres, des poussières provenant d'une cheminée d'usine.

Avec le feldspath, le quartz et le kaolin nous avons fait deux séries d'animaux. La première avec les plus grosses particules ne passant pas au tamis 100, c'est-à-dire ayant un diamètre supérieur à 270 μ . La seconde avec les particules les plus fines, de diamètre inférieur à 90 μ . Le produit du tamisage au tamis 300. Ceci en vue d'avoir une idée de la réceptivité pulmonaire par rapport à la grosseur des particules absorbées (v. p. 92).

Pour le talc, étant donné sa finesse, nous avons utilisé le produit officinal non tamisé.

Pour les poussières, nous avons pris les particules les plus fines pour nous rapprocher autant que possible de celles que la respiration laisse normalement entrer dans les poumons.

Dans ce cas nous avons également utilisé les particules passant au tamis 300.

Ces poussières porteront dans les tableaux les noms suivants :

— Feldspath ne passant pas au tamis 100.....	Poussière A
— Feldspath passant au tamis 300.....	Poussière B
— Quartz ne passant pas au tamis 100.....	Poussière C
— Quartz passant au tamis 300.....	Poussière D
— Kaolin ne passant pas au tamis 100.....	Poussière E
— Kaolin passant au tamis 300.....	Poussière F
— Talc tout venant.....	Poussière G
— Poussière d'un appartement inhabité passant au tamis 300.....	Poussière H
— Poussière de Villeurbanne passant au tamis 300..	Poussière I

Nous avons pesé 0 gr. 110 de chacun de ces produits et nous les avons administrés d'après la technique expliquée plus haut après les avoir mis en suspension dans 4 cm³ de sérum physiologique.

Nous avons fait avec chaque grosseur de poussières, une série de six lapins. Nous avons laissé chaque animal survivre à l'opération pendant un temps fixé d'avance et qui a duré de une heure à trois mois. A la fin de chacune de ces six périodes, nous avons sacrifié l'animal en expérience par disjonction des vertèbres cervicales. Nous avons ensuite prélevé le poumon en le protégeant de toute souillure étrangère, puis nous l'avons détruit par la méthode sulfo-nitro-perchlorique. Dans le résidu insoluble que nous avons pesé nous avons dosé la silice par le mélange sulfo-fluorhydrique en employant une technique en tous points semblable à celle déjà utilisée pour les poumons humains et les différentes poussières siliceuses que nous avons mentionnées précédemment.

Pour chaque poussière utilisée, nous avons réuni dans un tableau les résultats obtenus avec les lapins, tableau que nous avons complété en indiquant les résultats que nous a donnés une destruction témoin faite sur une quantité de produit égale à celle injectée, ajoutée à 15 gr. de viande, c'est-à-dire que nous avons indiqué le poids du résidu après traitement par le mélange sulfo-nitro-perchlorique et sa teneur en silice. Ceci pour nous servir de base de comparaison avec les chiffres trouvés dans les poumons des lapins opérés.

Lapins traités par la poussière A.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr	Quantité de SiO_2 % dans cet insoluble
A 1	110	1 heure	104,48	Dépôt cristallin	32,33	69 %
A 2	110	1 jour	98,61	Dépôt cristallin	30,71	69 %
A 3	110	8 jours	84,42	Dépôt cristallin	27,64	67 %
A 4	110	1 mois	73,95	Dépôt cristallin	22,33	70 %
A 5	110	2 mois	65,37	Dépôt cristallin	18,05	72 %
A 6	110	3 mois	76,48	Dépôt cristallin	24,30	68 %

Destruction témoin de la poussière A avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO_2 % dans cet insoluble
110	108,53	Dépôt cristallin	35,25	68 %

Lapins traités par la poussière B.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr	Quantité de SiO_2 % dans cet insoluble
B 1	110	1 heure	103,93	Dépôt cristallin	33,95	67 %
B 2	110	1 jour	101,35	Dépôt cristallin	33,44	67 %
B 3	110	8 jours	93,17	Dépôt cristallin	31,69	66 %
B 4	110	1 mois	71,10	Dépôt cristallin	23,80	67 %
B 5	110	2 mois	82,03	Dépôt cristallin	27,97	66 %
B 6	110	3 mois	75,51	Dépôt cristallin	22,01	71 %

Destruction témoin de la poussière B avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO_2 % dans cet insoluble
110	104	Dépôt cristallin	34,34	67 %

Lapins traités par la poussière C.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
C 1	110	1 heure	74,83	Dépôt cristallin	1,00	99 %
C 2	110	1 jour	69,22	Dépôt cristallin	1,40	98 %
C 3	110	8 jours	53,80	Dépôt cristallin	1,44	97 %
C 4	110	1 mois	5,46	Dépôt cristallin	0,03	99 %
C 5	110	2 mois	9,63	Dépôt cristallin	0,20	98 %
C 6	110	3 mois	9,15	Dépôt cristallin	0,25	97 %

Destruction témoin de la poussière C avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
110	109,09	Dépôt cristallin	3,77	97 %

Lapins traités par la poussière D.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
D 1	110	1 heure	96,09	Dépôt cristallin	2,07	98 %
D 2	110	1 jour	93,73	Dépôt cristallin	1,49	98 %
D 3	110	8 jours	91,82	Dépôt cristallin	2,87	97 %
D 4	110	1 mois	94,90	Dépôt cristallin	2,00	98 %
D 5	110	2 mois	79,23	Dépôt cristallin	1,02	99 %
D 6	110	3 mois	73,99	Dépôt cristallin	1,33	98 %

Destruction témoin de la poussière D avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
110	108,75	Dépôt cristallin	3,44	97 %

Lapins traités par la poussière E.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
E 1	110	1 heure	53,98	Précipité de silice amorphe	4,98	91 %
E 2	110	1 jour	53,49	Silice amorphe	4,75	91 %
E 3	110	8 jours	53,19	Silice amorphe	4,57	91 %
E 4	110	1 mois	52,91	Silice amorphe	7,20	86 %
E 5	110	2 mois	48,18	Silice amorphe	4,53	90 %
E 6	110	3 mois	22,85	Silice amorphe	1,82	92 %

Destruction témoin de poussière E avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
110	54,42	Silice amorphe	4,99	91 %

Lapins traités par la poussière F.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
F 1	110	1 heure	59,86	Dépôt de silice amorphe	6,51	89 %
F 2	110	1 jour	59,60	Silice amorphe	4,00	93 %
F 3	110	8 jours	58,68	Silice amorphe	10,94	81 %
F 4	110	1 mois	49,66	Silice amorphe	4,88	90 %
F 5	110	2 mois	47,46	Silice amorphe	5,50	88 %
F 6	110	3 mois	54,29	Silice amorphe	7,90	85 %

Destruction témoin de poussière F avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après $\text{FH} + \text{SO}^4\text{H}^2$ en mgr.	Quantité de SiO^2 % dans cet insoluble
110	60,45	Silice amorphe	6,34	90 %

Lapins traités par la poussière G.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Quantité de SiO ² % dans cet insoluble
G 1	110	1 heure	60,69	Dépôt cristallin	32,64	46 %
G 2	110	1 jour	50,58	Dépôt cristallin	27,60	45 %
G 3	110	8 jours	46,71	Dépôt cristallin	24,88	47 %
G 4	110	1 mois	53,86	Dépôt cristallin	26,07	52 %
G 5	110	2 mois	55,17	Dépôt cristallin	26,19	53 %
G 6	110	3 mois	52,51	Dépôt cristallin	26,63	49 %

Destruction témoin de la poussière G avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Quantité de SiO ² % dans cet insoluble
110	69,35	Dépôt cristallin	37,24	46 %

Lapins traités par la poussière H.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Quantité de SiO ² % dans cet insoluble
H 1	110	1 heure	34,80	Dépôt cristallin	8,00	77 %
H 2	110	1 jour	34,22	Dépôt cristallin	6,92	80 %
H 3	110	8 jours	32,25	Dépôt cristallin	6,87	79 %
H 4	110	1 mois	30,05	Dépôt cristallin	6,91	77 %
H 5	110	2 mois	14,06	Dépôt cristallin	3,04	78 %
H 6	110	3 mois	10,83	Dépôt cristallin	2,60	76 %

Destruction témoin de la poussière H avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Quantité de SiO ² % dans cet insoluble
110	46,44	Dépôt cristallin	11,05	76 %

Lapins traités par la poussière I.

Lapins	Quantité injectée en mgr.	Survie à l'opération	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Quantité de SiO ² % dans cet insoluble
I 1	110	1 heure	65,12	Dépôt cristallin	20,05	69 %
I 2	110	1 jour	54,95	Dépôt cristallin	17,77	68 %
I 3	110	8 jours	65,50	Dépôt cristallin	26,05	60 %
I 4	110	1 mois	68,74	Dépôt cristallin	28,19	59 %
I 5	110	2 mois	66,61	Dépôt cristallin	26,83	60 %
I 6	110	3 mois	39,39	Dépôt cristallin	15,02	62 %

Destruction témoin de la poussière I avec 15 grammes de viande.

Quantité détruite en mgr.	Résidu insoluble après destruction en mgr.	Aspect de ce résidu	Résidu après FH + SO ⁴ H ² en mgr.	Quantité de SiO ² %, dans cet insoluble
110	77,10	Dépôt cristallin	28,44	63 %

Les chiffres qui se trouvent réunis dans les tableaux précédents, nous montrent que :

I. — Le poumon ne fixe pas également toutes les poussières qui arrivent à son contact.

Tout d'abord, pour les poussières de même nature, les particules les plus fines sont celles qui séjournent le plus longtemps dans cet organe. Si donc, nous calculons le pourcentage de ce que nous avons retrouvé dans les poumons de nos lapins, par rapport à la quantité d'insoluble que la destruction témoin nous a laissée, nous voyons que :

La poussière B se retrouve en plus grande quantité que la poussière A, nous obtenons en effet respectivement après une heure, un jour et huit jours :

- pour la poussière B : 99,9 % - 97 % et 90 % de la quantité introduite ;
- pour la poussière A : 96 % - 91 % et 78 % de la même quantité.

Il en est de même pour la poussière C et la poussière D. Cette dernière beaucoup plus fine, s'élimine avec beaucoup plus de lenteur, puisque pour chacune des périodes envisagées nous obtenons respectivement une imprégnation pulmonaire qui par rapport à la quantité injectée est de :

88 % - 86 % - 84 % - 87 % - 73 % - 68 % pour la seconde
et de 69 % - 63 % - 49 % - 5 % - 9 % - 8 % pour la première.

Enfin, pour les poussières E et F, bien que les quantités retrouvées pendant les trois premières périodes soient égales à 98 % (et si elles diminuent pour la poussière F pendant les deux périodes suivantes : 81 % contre 93 %), il ne faut pas oublier que ce sont tout de même les fines particules qui après trois mois se retrouvent en plus grande quantité dans le poumon puisqu'il y en a encore 90 % contre 42 % pour la poussière E.

II. — Les poussières constituées par des silicates purs restent fixées en beaucoup plus grande quantité, après trois mois de séjour et à taille égale, que les poussières proprement dites de nature plus complexe.

C'est ainsi qu'après trois mois nous n'avons retrouvé que 23 % de poussière H et 51 % de poussière I pour 90 % de poussière F, 68 % de poussière D et 72 % de poussière B.

Quant au talc (poussière G), nous ne pouvons le comparer à aucun des autres produits que nous avons utilisés car, s'il fait partie des silicates, nous avons employé un échantillon de grosseur moyenne. Nous pouvons cependant dire que c'est une poudre qui s'élimine lentement puisque après trois mois le poumon contient encore 76 % de la quantité injectée.

III. — Nous voyons également que la teneur en SiO_2 ne semble pas être un facteur exclusif de fixation. En effet, si des poussières riches en silice : le quartz ou la poussière F s'éliminent lentement, d'autres moins riches en silice se fixent d'une façon presque aussi importante. C'est

le cas de la poussière B (SiO_2 67 %), de la poussière I (SiO 63 %), la poussière G (SiO_2 46 %) dont on retrouve encore une assez forte proportion au bout de trois mois. Tandis que la poussière H qui contient 76 % de silice est relativement vite éliminée, puisque après trois mois le contenu pulmonaire n'est égal qu'à 23 % de ce qui a été injecté. Il nous semble donc que la nature physique et chimique des poussières influe plus sur leur fixation que la teneur en SiO_2 .

IV. — Nous remarquons encore que, en moyenne, pour toutes ces poussières, s'il semble se faire au début une élimination parfois assez rapide, ce n'est qu'après deux et trois mois de séjour dans les poumons que l'on peut vraiment se rendre compte d'une notable diminution dans le taux de l'imprégnation pulmonaire. Voici d'ailleurs un tableau donnant le contenu pulmonaire, pour chaque poussière employée, chez les lapins sacrifiés huit jours et trois mois après l'injection.

CONTENU PULMONAIRE PAR RAPPORT A LA DOSE INJECTÉE.

Poussières	Survie à l'opération	
	8 jours	3 mois
Poussière A	78 %	70 %
Poussière B	90 %	73 %
Poussière C	49 %	8 %
Poussière D	84 %	68 %
Poussière E	98 %	42 %
Poussière F	97 %	90 %
Poussière G	67 %	76 %
Poussière H	69 %	23 %
Poussière I	85 %	51 %

Seul le talc (poussière G) nous a présenté un résultat aberrant, cependant les chiffres que nous avons consignés, tant dans ce tableau que dans les précédents, proviennent d'une moyenne établie sur un groupe d'expériences faites

pour chacune des périodes envisagées. Expériences qui nous ont chaque fois donné des chiffres très voisins.

V. — Nous constatons enfin que pour chacun de ces produits il existe toujours entre les intervalles extrêmes, une heure et trois mois, plusieurs périodes pendant lesquelles le contenu pulmonaire reste à peu de chose près de même valeur (tableaux p. 98) ce qui nous rapproche des conclusions qui avaient été faites par M. le Professeur René Fabre et E. Kahane, devant les résultats obtenus en étudiant l'imprégnation siliceuse du poumon des animaux des mines de Brassac (p. 79), ces auteurs avaient dit qu'il semblait se faire une sorte de stabilisation dans le taux du résidu insoluble du poumon. Cependant, dans le cas présent, il nous paraît plus juste de parler non d'une stabilisation, mais plutôt d'un état stationnaire dans le taux de l'imprégnation siliceuse du poumon, puisque partant d'un poids connu de silicate, nous avons cherché à savoir quelle quantité nous en retrouverions après des temps déterminés. C'est ainsi que, dans les poumons de nos lapins, la quantité de poussière F injectée est restée un mois à peu de chose près stationnaire. La poussière I s'est maintenue à un taux constant pendant deux mois. Il en a été de même pour les poussières D, E et F ainsi que pour le talc (poussière G) pendant des périodes qui ont été respectivement de un mois, huit jours et trois mois. Et, si ces périodes une fois écoulées, nous avons enregistré une régression notable, dans le taux de l'imprégnation pulmonaire, nous ne devons pas considérer ce fait comme infirmant ce que nous venons de dire. Il ne nous faut pas oublier que, contrairement aux animaux des mines de Brassac, qui sont restés exposés aux inhalations, ces lapins ont reçu une quantité déterminée de particules dans leurs poumons, quantité qui n'a jamais été renouvelée, alors que l'introduction continue des poussières, par la respiration d'une atmosphère toujours la même, vient compenser les pertes dues à l'élimination et contribue ainsi au maintien de cette constance dont nous avons parlé.

*
* *

Si maintenant à l'aide des résultats obtenus, nous voulons essayer de donner une réponse aux questions posées par M. le Professeur René Fabre, questions ayant trait à la transformation et aux modifications des particules siliceuses injectées, nous pouvons dire que :

1° La transformation n'a pas lieu pendant un séjour dans les poumons allant de une heure à trois mois.

En effet, chaque fois que nous avons eu affaire à un silicate indécomposable par les acides, nous avons vu que le résidu après destruction d'un poumon de l'animal traité, est identique à celui que l'on obtient après destruction témoin ; il est toujours constitué dans les deux cas par des particules d'aspect macroscopiquement identique. La teneur en silice est également du même ordre dans les deux cas (tableau p. 98, etc.).

Le poumon ne semble donc pas exercer une influence sur la teneur en silice des particules qu'il emmagasine comme avait pu nous le laisser supposer l'étude des particules isolés du poumon humain (Cf. p. 91). Nous avons en effet trouvé que les particules provenant de ces poumons étaient plus riches en SiO_2 , que les poussières et silicates que nous avons étudiés.

Cependant il ne faut pas oublier que les poussières injectées ont une grosseur moyenne de beaucoup supérieur à celle que nous avons pu isoler des poumons humains puisqu'elles sont formées de particules ayant un diamètre moyen de 45μ — diamètre moyen bien plus élevé que celui des particules retirées du poumon normal, qui est d'environ 3μ 5.

2° Les modifications du contenu pulmonaire : Cette question semble, de premier abord, se lier directement à la question de la transformation. Cependant, comme nous ne retrouvons pas la totalité des particules injectées (voir tableaux p. 98, etc...) nous sommes obligés de constater, à

première vue, qu'il y a disparition d'une certaine quantité de poussière.

Pour essayer d'expliquer cette disparition, il semble que dans l'élimination des poussières, nous pouvons envisager deux cas : les deux cas étant fonction du séjour qu'elles effectuent dans les poumons.

a) Pour certaines, la quantité éliminée est si faible, immédiatement après l'injection, qu'on ne saurait à ce moment dire si ce qui a disparu est assimilé par l'organisme ou évacué par le mucus des bronches.

b) Nous avons toujours observé que la quantité de produit éliminé augmentait avec la durée de l'expérience, il nous semble donc que dans ce cas, il se produise un phénomène physiologique différent de l'évacuation. Nous disons phénomène physiologique car le mot digestion nous semble être d'une précision trop grande.

En effet, s'il y a digestion, il y a transformation de la silice qui assimilée par l'organisme, passera de la catégorie de silice d'interposition, dans celle de silice de constitution. Nous devrions alors, après destruction, retrouver en même temps que des particules siliceuses identiques à celles des expériences témoins, de la silice gélatineuse qui proviendrait de la partie métabolisée. Ceci ne nous est jamais arrivé.

Nous avons été tenté au début d'expliquer cette disparition par un simple phénomène de transport de particules. Franks et Watt [10] ont en effet démontré qu'*in vitro* les monocytes du sang peuvent transporter du quartz. Un seul étant capable d'absorber jusqu'à 5 particules de quartz plus petites que $5\ \mu$.

Cependant cette explication ne nous a pas paru satisfaisante car divers auteurs ont constaté l'action solubilisante du suc tissulaire vis-à-vis de la silice.

Collis d'abord, Gye et Keettle [38] ensuite ont trouvé que les particules siliceuses ne sont pas tout à fait insolubles. La lymphe interstitielle qui est légèrement alcaline

attaque ces particules et « il se répand quelque chose de toxique dans le cytoplasma ».

Mellor (1918) et Konrich (1926) [38] ont vu qu'*in vitro* la surface des particules siliceuses est attaquée par le suc des tissus et se recouvre d'une mince couche de silice colloïdale. Mills [36] a trouvé que des spicules de silice introduite dans des tissus sont érodés à la longue. Rau a donné une idée de grandeur de cette attaque en laissant de la poussière siliceuse dans du liquide de Ringer de P. H. 7,35 pendant huit mois. A ce moment, il y avait dans ce liquide de 50 à 60 mgr. pour mille de SiO^2 .

Ceci nous permet donc de supposer que la disparition des poussières introduites, peut s'expliquer par une élimination par la voie interne.

Comme dans nos destructions nous n'avons jamais retrouvé de silice amorphe, il faut admettre que la silice solubilisée est éliminée au fur et à mesure, de telle sorte qu'à aucun moment il n'en existe une quantité appréciable dans les poumons.

*
* *

A l'encontre de ce que nous venons de dire, on pourrait nous objecter les travaux de Pessahowitzch [33]. Cet auteur, en 1930, pour étudier l'action toxique des poussières minérales, les a enfermées sous forme de suspension dans des sacs de collodion qu'il a insérés dans le tissu cellulaire sous cutané ou dans le péritoine. Après un certain temps, il n'a constaté aucune altération des cellules et des tissus au contact des sacs.

Ces résultats prouvent seulement qu'il n'y a pas production d'une substance cristalloïde soluble dans le suc des tissus, car le collodion retient les substances colloïdales. Ce même auteur a observé également qu'en introduisant du sable et de la silice dans la cavité abdominale de lapins, il n'y avait pas non plus d'altération des cellules et des tissus.

Malgré tout, ces résultats ne sont pas infirmés par les

nôtres, pas plus d'ailleurs qu'ils n'infirmement l'hypothèse de Collis et Gye d'une substance cristalloïde soluble.

Ce n'est pas parce que ces substances ne se sont pas montrées solubles dans une certaine partie de l'organisme qu'il doit en être de même dans les poumons.

L'action toxique due à la solubilité des poussières siliceuses a été nettement constatée par les auteurs cités plus haut : Gye et Keettle, Mellor et Konrich, et en outre pour les cellules fixes de la cornée ainsi que les fibroblastes et les histiocytes en culture par Policard et Policard et Rollet [35].

*
* *

Ces théories sur lesquelles nous venons de nous appuyer pour chercher à expliquer, par leur solubilité, la disparition de l'organisme des poussières siliceuses introduites mécaniquement, ont toutes été énoncées par des auteurs étudiant la toxicité des silicates.

Notre travail ayant été entrepris dans un but strictement biologique, il nous est impossible d'avoir une idée de la nocivité des différents silicates que nous avons étudiés. Nous pouvons seulement dire que les silicates riches en silice s'éliminent avec autant de lenteur que le quartz, tout au moins pour les fines particules, ainsi que nous l'avons montré dans la critique de nos différentes expériences.

Si nous tenons compte de la théorie d'Haldane [40] qui prétend pouvoir déduire la nocivité des produits siliceux en partant de leur plus ou moins rapide élimination, il nous est seulement possible de faire un rapprochement entre la thèse de ceux qui prétendent que le quartz est très nocif et ceux qui prétendent que les silicates le sont également. Nous ajouterons toutefois que les poussières les plus lentement éliminées ont toujours été celles possédant le plus fort pourcentage en SiO_2 .

Personnellement nous ne pouvons pas affirmer que la nocivité d'une poussière est due à sa lenteur d'élimination ou à sa teneur en SiO_2 . Cependant nous tenons à faire

remarquer que, au cours du traitement, plusieurs de nos lapins sont morts peu de temps après l'injection de particules siliceuses. Nous avons perdu en tout 8 lapins. Sur ces animaux 6 avaient reçu des silicates à fort pourcentage de silice et 2 des poussières atmosphériques.

Le lapin C.73, mort 13 jours après une injection de 0 gr. 110 de poussière D.

Le lapin D.4, mort 5 jours après une injection de 0 gr. 110 de poussière C.

Le lapin C.53, mort 25 jours après une injection de 0 gr. 110 de poussière B.

Le lapin D.71, mort un mois après une injection de 0 gr. 110 de poussière E.

Le lapin D.10, mort une semaine après une injection de 0 gr. 110 de talc (poussière G).

Le lapin C.67, mort 9 jours après une injection de 0 gr. 110 de poussière C.

Le lapin C.95, mort 21 jours après une injection de 0 gr. 110 de poussière I.

Le lapin D.41, mort une semaine après une injection de 0 gr. 110 de poussière H.

Ces accidents étaient tous dus à des pneumonies à pneumocoques et streptocoques que nous avons vérifiés bactériologiquement. Ils sont consécutifs à l'injection des particules siliceuses dans les poumons et ne peuvent être imputés à un vice opératoire. Nous ne sommes d'ailleurs pas le seul à avoir enregistré des faits semblables, d'autres auteurs en ayant déjà parlé. Arnoldi [39] a noté des pneumonies lobulaires aiguës et catarrhales dues à des inhalations de poussières.

Dans les mêmes circonstances, Libeneau [39] a rencontré des complications pulmonaires après des périodes d'inhalations très courtes. Pomerang [39] a également trouvé un foyer de broncho-pneumonie chez un cobaye après 4 semaines d'inhalation de poussières.

Tous les lapins cités ci-dessus ont présenté le même

cycle évolutif dans la maladie. En parfaite santé au moment de l'injection et d'un poids moyen de 2 kgr. 200 à 2 kgr. 400, ces animaux ont montré tous les symptômes de la broncho-pneumonie accompagnés d'un amaigrissement intense.

Par contre, les animaux qui ont résisté ne nous ont pas semblé, même après trois mois, présenter des signes de malaise quelconque, tant par leur aspect extérieur qu'à l'autopsie.

En résumé, ces expériences d'empoussiérages par trachéotomie nous ont permis de nous rendre compte que :

1° Il n'y a pas de transformations morphologique ou chimique des particules siliceuses introduites dans les poumons pendant un séjour de trois mois dans cet organe.

2° On constate la disparition d'une fraction des particules introduites.

Cette disparition se ferait de deux façons suivant la durée du séjour des particules dans les poumons.

Immédiatement après l'injection, une faible élimination aurait lieu grâce au mucus des bronches.

Plus tard, après un séjour plus ou moins long et variable avec la poussière envisagée, il se fait une élimination plus importante. Elle semblerait avoir lieu par voie interne, ce qui serait à vérifier par l'étude de la teneur en silice du sang et de différents organes tels que ceux dans lequel G. Antoine a rencontré des particules siliceuses (cf. p. 9) (1).

(1) Notre travail ayant pour objet l'étude du contenu pulmonaire, nous n'avons pas cru devoir nous écarter de cet objet, un de nos camarades de laboratoire (Antoine) étudiant pour son compte personnel les particules siliceuses dans l'organisme en général.

CONCLUSIONS

I. — Nous avons étudié la teneur en particules siliceuses du poumon normal humain. Opérant sur des individus morts accidentellement, nous avons trouvé que :

- 1° Indépendamment des variations individuelles, souvent considérables, cette teneur augmente avec l'âge de 5 à 70 ans ;
- 2° Le pourcentage en silice des particules siliceuses isolées du poumon est assez élevé et compris entre 81 et 94 %, c'est-à-dire qu'il est supérieur à celui de la plupart des silicates naturels susceptibles de pénétrer dans l'organisme par la voie pulmonaire.

II. — Pour savoir si cette forte teneur en silice n'est pas due à une dégradation des particules siliceuses du poumon au cours de l'attaque, entraînant la disparition apparente des bases combinées à la silice, nous avons étudié l'action, sur divers composés siliceux, des acides contenus dans le mélange de destruction. Nous avons ensuite dosé la silice dans le résidu de ces différentes attaques.

De nombreux silicates : l'amiante, le kaolin, le ciment, le grès et les minéraux schisteux de Brassac sont dégradés au cours de l'attaque.

Ils laissent alors un résidu de silice amorphe, bien différent du résidu cristallin résultant des destructions perchloriques des poumons.

D'autres silicates, tels que : le feldspath, le talc sont peu dégradés par l'attaque sulfo-nitro-perchlorique et restent cristallisés. Il en est de même pour le coton de verre qui

n'est pas attaqué. Toutefois ils conservent une teneur en silice inférieure à celle des particules siliceuses isolées du poumon. La teneur élevée en silice que présentent ces dernières semble, par conséquent, due à leur richesse en quartz.

III. — Nous avons comparé les particules siliceuses des poussières atmosphériques à celles que nous avons retirées du poumon humain.

La teneur moyenne en silice de la portion de ces poussières insoluble dans le mélange nitro-sulfo-perchlorique est de 75 %, c'est-à-dire qu'elle est inférieure à celle des poussières du poumon qui contiennent de 81 à 94 % de SiO_2 et apparaissent par conséquent comme enrichies en silice vis-à-vis des poussières atmosphériques.

IV. — Nous avons essayé de déterminer s'il existe une différence d'élimination ou de modification par le poumon des particules riches ou pauvres en silice.

Pour cela, nous avons injecté dans le poumon de lapins trachéotomisés des quantités connues de poussières et nous avons remarqué que :

- 1° Les poussières les plus fines sont celles qui séjournent le plus longtemps dans les poumons ;
- 2° La teneur en silice n'est pas le facteur déterminant de la fixation des silicates par le poumon : le quartz (silice pure), le feldspath qui contient 67 % de silice et le talc qui en contient 50 % s'éliminent sensiblement à la même vitesse ;
- 3° Pendant un séjour de trois mois dans les poumons, aucune des poussières injectées ne subit de transformation qualitative ;
- 4° Il y a une certaine élimination très faible, vraisemblablement par le mucus bronchique, principale pendant le premier mois du traitement ;

- 5° C'est après deux ou trois mois que l'on constate la plus forte disparition de poussières injectées. Il y a donc eu pendant ces périodes une élimination dont nous n'avons pu déterminer la nature et qui a pu se faire par voie interne ou par passage à travers le parenchyme pulmonaire.

Vu : le Président de la thèse,

R. FABRE.

Vu : le Doyen,

PAUL GUÉRIN.

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

G. ROUSSY.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANTOINE (G.). — Les poussières et la silicose. *La Pharmacie Française*, 1936, **1**, p. 40.
2. — Recherches sur le sort des poussières dans l'organisme. III. Répartition des poussières siliceuses dans les poumons. *Journ. Pharm. et Chim.*, 1935, **22**, p. 412.
3. BERTRAND (G.). — Cours de chimie biologique professé à la Faculté des sciences de Paris.
4. BRARD (D.). — Contribution à l'étude toxicologique du chrome. Thèse de doctorat en pharmacie. Paris, 1934, p. 89.
5. CARLETON (H. M.). — The pulmonary lesions produced by the inhalation of dust in guinea pigs. *Journ. of hygiene*, 1924, **22**, p. 438.
6. CUTHBERT (F. S.) et IVY (A. C.). — Absorption of carbon particles from gastrointestinal tract. *Proc. sec. exper. Biol. a Med.*, 1935, **32**, p. 1272 ; *Ber. ges. Physiol.*, 1936, **90**, p. 302.
7. DIENERT (F.) et VANDENBULCK (E.). — Sur le dosage de la silice dans les eaux. *Bull. Soc. chim.*, 1923, **33**, p. 1131 ; *C. R. Ac. Sc.*, 1923, **176**, p. 1478.
8. FABRE (R.). — Recherche sur le sort des poussières dans l'organisme. I. Nature des questions posées. *Journ. Pharm. et Chim.*, 1935, **22**, p. 145.
9. FABRE (R.) et KAHANE (E.). — Recherche sur le sort des poussières dans l'organisme. IV. Recherches expérimentales sur l'empoussiérage des animaux de laboratoire. *Journ. Pharm. et Chim.*, 1936, **23**, p. 217.
10. FRANKS (W. R.) et WATT (A. J.). — The phagocytosis of silica by surviving leucocytes. *Royal Society of Canada*, 1934, **5**, p. 2843.
11. GALFAJAN (C. T.) et TARAJAN (W. M.). — Le dosage de la silice

- dans les silicates par différence. *Z. anal. chem.*, 1933, **92**, p. 417.
12. GARDNER (L. U.). — The relatively early lesions in experimental pneumokoniosis produced by granite inhalation and their influence on pulmonary tuberculosis. *Am. rev. of tuberc.*, 1920, **4**, p. 734.
13. GERLACH (Wa. et We.). — Der Elementar Nachweiss in Gewebe. *Virch. Arch.*, 1931, **282**, p. 208.
- GERLACH (Wa. et E.), SCHWEITZER. — Spectralanalytische Untersuchungen Zur Chemischen Mikroanalyse. *Zeits. f. anorg. u. all. chemie*, 1931, **195**, p. 225.
14. HAYNES (E.). — Experimental dust inhalation in guinea-pigs. *Journ. of hygiene*, 1931, **31**, p. 96.
15. ISAACS (M. L.). — Sur la présence du silicium dans les tissus : une micro méthode de dosage du silicium. *Bull. soc. chim. biol.*, 1924, **6**, p. 157.
16. KAHANE (E.). — Recherches sur le dosage de la silice et sur l'état de la silice dans les substances biologiques. *Bull. soc. Philomath.*, 1933, **116**, p. 27.
- 17 — Sur la possibilité de détruire des quantités importantes de matières organiques au moyen de l'acide perchlorique. *Bull. soc. chim. biol.*, 1932, **14**, p. 294.
- 18 — Sur la silice des silicodermées. *Bull. soc. chim. biol.*, 1934, **17**, p. 1554.
19. KAHANE (E.) et ANTOINE (G.). — Sur la nature de la silice chez les êtres vivants. Silice de constitution et silice d'interposition. Communication à la Soc. chim. biol. le 18 juin 1935.
20. KEETLE et HILTON. — The technic of experimental pneumokoniosis. *Lancet*, 1932, **222**, p. 1190.
21. KING (E. J.). — The estimation of silica in tissues. *Journ. of. biol. chem.*, 1928, **80**, p. 25.
22. KING (E. J.) et STANTIAL (H.). — The biochemistry of silicic acid Micro determination of silica. *Biochem. journ.*, 1933, **27**, p. 990.
- 23 KING (E. J.) STANTIAL (H.) et DOLAN (M.). — The excretion of administered silica. *The bio. journ.*, **27**, p. 1.007.
24. KITAJIMA (S.). — Détermination de la silice par la méthode volumétrique. *Bull. chem. soc. Japan*, 1935, **10**, p. 341 ; *Ann. chim. anal.*, 1936, **18**, 157.

25. LEHMANN (G.). — Bedeutung des Staubbindungsvermögens der Nase für die Entstehung der Lungensilikose. *Arb. physiol.*, 1934, **8**, p. 218 ; *Ber. Ges. Physiol. Exper. Pharmacol.*, 1935, **83**, p. 573.
26. LEMATTE-BOINOT et KAHANE. — Recherches sur le dosage de la silice dans les tissus végétaux et animaux. *Bull. soc. chim. biol.*, 1928, **10**, p. 867.
27. LEMATTE (E.) et KAHANE (E.). — Sur la présence de particules siliceuses dans le sang. *C. R. Ac. Sc.*, 1933, **196**, p. 575.
28. LEULIER (A.) et POLICARD (A.). — Sur la teneur en silice des ganglions trachéo-bronchiques dans la silicose pulmonaire. *C. R. Soc. biol.*, 1931, **106**, p. 1.034.
29. LIEB (H.) et SCHADENDORFF (E.). — Ueber den Kieselsäuregehalt von Staublungen bei Quarzarbeitern in Steiermark. *Arch. Gewerbepathol. Gewerbehyg.*, 1933, **4**, p. 576.
30. MAVROGORDATO. — Studies in experimental silicosis and other pneumoconiosis. *Publ. South-African Inst. for Med. research*, 1922, n° **15**, p. 32.
31. MORGAN (J. C.) et KING (E. J.). — A method for the micro-gravimetric determination of silica in tissue. *Journ. of biol. chem.*, 1932, **XC**, pp. 30, 119, 613.
32. PESSAHOWITZSCH (J. M.). — Die pathologie des staubes. *Virch. Arch.*, 1930, p. 345.
33. POLICARD (A.). — Etude cytologique des éléments à particules siliceuses du poumon dans la silicose expérimentale. *Bull. d'hist. app.*, 1931, **VIII**, p. 190.
34. POLICARD (A.). — Le nodule silicotique pulmonaire. *Presse médicale*, n° **80**, 1932.
35. — Mode de formation du nodule silicotique. *Presse médicale*, n° **5**, 1933.
36. Sur la fixation des poussières minérales dans les poumons humains. *Bull. histologie appliquée*, 1930, **7**, p. 337.
37. *Revue générale de Médecine et de Chirurgie de l'Afrique du Nord et des Colonies Françaises*, 1934, n° **271**, p. 2213.
38. ROBIN et VERDEIL. — Traité de chimie anatomique et physiologique, **III**, p. 520. J.-B. Baillière, éd., Paris.
39. SELTER (H.), et VERLAND (P.). — Silikose und Tuberculose. *Zentralblatt für Gewerbehyg. Gewerbepathol und unfallverhütung*, 1935, **12**, p. 12.

40. *Strasbourg médical*. — Etat actuel du problème des pneumokonioses.
Dr Wolf Fried, 1935, n° 2, p. 23.
 41. TREADWELL. — Manuel de chimie analytique. Dunod, éditeur, Paris,
2, p. 446.
 42. VILLIERS. — Précis d'analyse qualitative. Doin, éditeur, Paris,
p. 120.
 43. VIVARIO (M. R.) et COMHAIRE (S.). — Le dosage de la silice dans
les tissus. *C. R. du Congrès de l'A.F.A.S.*, 1932, p. 442.
 44. WILLARD (H. H.) et CAKE (W. E.). — Perchloric acid as a deshy-
drating agent in the determination of silica. *Journ. of Amer.
chem. Soc.*, 1920, 42, p. 2208.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	7
GÉNÉRALITÉS. — <i>La silice en biochimie</i>	10
 PREMIÈRE PARTIE. — Différentes techniques de dosage de la silice et de destruction de la matière organique en vue de ce dosage.....	 15
CHAPITRE I. — <i>Procédés de détection de la silice</i>	15
CHAPITRE II. — <i>Dosage de la silice en général</i>	17
I. Dosages gravimétriques.....	17
II. Dosages colorimétriques.....	19
III. Dosages volumétriques.....	20
CHAPITRE III. — <i>Dosage de la silice dans les substances organiques</i>	21
I. Dosage de la silice après destruction de la matière organique par voie sèche.....	22
II. Dosage de la silice après destruction des matières organiques par voie humide.....	23
 DEUXIÈME PARTIE. — Imprégnation siliceuse du poumon normal.	39
I. Introduction.....	39
II. Variation individuelle de l'imprégnation siliceuse du poumon normal.....	42
III. Etude sommaire des particules isolées du poumon....	45
 TROISIÈME PARTIE. — Etude de quelques composés siliceux et de quelques poussières.....	 49
CHAPITRE I. — <i>Composés siliceux</i>	49
CHAPITRE II. — <i>Poussières atmosphériques</i>	57
CHAPITRE III. — <i>Poussières diverses</i>	67

QUATRIÈME PARTIE. — Empoussiérages naturels et artificiels..	76
CHAPITRE I. — <i>Empoussiérages naturels : Animaux de Brassac.</i>	79
CHAPITRE II. — <i>Passage des poussières par le tube digestif.....</i>	84
CHAPITRE III. — <i>Empoussiérages par injection intra-trachéale..</i>	91
Introduction.....	91
Technique de trachéotomie.....	94
Technique d'injection.....	95
CONCLUSIONS.....	112
BIBLIOGRAPHIE.....	115

